



**Rúben Filipe
Silva Cavaco**

**Cálculo da pegada ambiental de uma unidade
industrial: o caso da Ria Blades SA**



**Rúben Filipe
Silva Cavaco**

**Cálculo da pegada ambiental de uma unidade industrial: o
caso da Ria Blades SA**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Gonçalves Nadais

Professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes

Professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Doutora Sara Margarida Moreno Pires

Investigadora do Departamento de Ciências Sociais, Políticas e do Território da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Este relatório simboliza o fim do meu percurso académico, percurso esse recheado de momentos inesquecíveis e que vou levar comigo para toda a vida.

Agradeço a todos os que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para o meu sucesso, a nível académico, e para a minha formação como pessoa.

À minha orientadora, Professora Myriam Lopes, pelo tempo disponibilizado e pela ajuda e conselhos que me ajudaram na realização deste documento.

À minha supervisora, na Ria Blades SA, Filipa Monteiro, pelo apoio e acompanhamento na empresa, que me permitiu uma ótima integração, essencial à realização do estágio.

À minha família, em especial, aos meus pais e aos entes mais próximos, pelo apoio que sempre me deram, logicamente, não só durante este percurso, mas ao longo da minha vida. É a minha maior fonte de orgulho e forças para enfrentar os meus desafios.

A todos os meus amigos, por todos os momentos partilhados, uns fantásticos, outros menos bons, que me fizeram aprender ao longo da vida. Com amigos destes, torna-se muito mais fácil sorrir para a vida.

palavras-chave Indicadores ambientais, energia eólica, pás de aerogerador, análise de ciclo de vida, pegada ecológica.

resumo Este trabalho enquadra-se no contexto de um estágio curricular realizado na empresa Ria Blades SA, no âmbito do seu Sistema de Gestão Ambiental (SGA), e visa a determinação da pegada ambiental desta organização.

A aposta em energia eólica tem tido um crescimento muito acentuado desde o início do século XXI, afigurando-se atualmente como uma das energias renováveis com maior potencial. Importa, no entanto, perceber quais os impactos associados à produção de equipamentos para geração de energia eólica, nomeadamente, no que diz respeito às pás de aerogeradores.

Para o efeito, realizou-se uma análise de ciclo de vida à unidade industrial da Ria Blades SA, segundo a ISO 14040:2006, utilizando como indicador de impacto ambiental a pegada ecológica.

Através desta análise foi possível obter os valores de pegada ecológica associados à produção de cada uma das pás produzidas na Ria Blades SA – RE40.0, RE45.2, RE50.8, RE55.8, RE59.8 e RE68.5 –, bem como dos serviços de suporte à sua produção. Apresenta-se, também, uma análise comparativa entre o impacto ambiental do *mix* energético português e o impacto ambiental dos aerogeradores que utilizam as pás produzidas na empresa.

Os resultados permitiram concluir que, apesar dos impactos ambientais da produção e transporte das pás de aerogerador, a energia produzida ao longo do tempo de vida do aerogerador é suficiente para compensar esses mesmos impactos. No entanto, há ainda caminho a percorrer para tornar este tipo de energia ainda mais “limpa”.

keywords

Environmental indicators, wind energy, wind turbine blades, life cycle analysis, ecological footprint.

abstract

The present work is part of an internship at Ria Blades SA, within the context of its environmental management system, and the goal is the determination of the ecological footprint of this company.

The wind energy industry has been increasing greatly since the beginning of the XXI century and nowadays it is one of the renewable energy options with more potential. However, it is essential to understand the environmental impacts that are related to the production of wind energy generation equipment, namely the wind turbine blades.

In order to reach the goal, a life cycle analysis was performed to the Ria Blades SA factory, following the ISO 14040:2006 framework and applying the ecological footprint as environmental impact indicator.

Through this analysis it was possible to obtain the values of ecological footprint regarding the production of each type of blades produced in Ria Blades SA – RE40.0, RE45.2, RE50.8, RE55.8, RE59.8 e RE68.5 –, as well as its support services. It is also presented a comparative analysis between the environmental impact of the electricity use in Portugal and the environmental impact of the wind turbines that use the blades produced in the company.

The results show that despite of the environmental impacts associated to the wind turbine blades production and transport not being despicable, the energy production during the lifetime of the wind turbines it is enough to offset those impacts. However, there are still actions to perform in order to get this type of renewable energy to be even cleaner and environmental friendly.

Índice

Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas.....	xvii
Abreviaturas	xix
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Metodologia	3
1.3. Estrutura.....	4
2. Pegadas Ambientais	7
2.1. Origem e conceito	7
2.2. Metodologias de cálculo	10
2.2.1. Análise de processo.....	11
2.2.2. Análise entradas-saídas.....	13
2.3. Vantagens e limitações	13
3. Energia eólica e ambiente	15
3.1. Tipos de aerogeradores.....	17
3.2. Funcionamento e componentes de um aerogerador	20
3.3. Aerogeradores e impactos ambientais	22
3.4. Processos de produção de pás de aerogerador	23
3.4.1. Wet hand lay-up	23
3.4.2. Filament Winding	24
3.4.3. Prepregs	24
3.4.4. Vacuum-assisted resin transfer moulding (VARTM)	25
3.4.5. Seeman Composite Resin Infusion Molding Process (SCRIMP)	25
3.4.6. Resin Film Infusion (RFI)	26
4. Pegada Ecológica da Ria Blades SA.....	27
4.1. Apresentação da empresa	27
4.2. Organização e layout.....	31
4.3. Caracterização do produto	35
4.4. Materiais utilizados na produção.....	36
4.5. Descrição do processo produtivo.....	37
4.5.1. Root Joint	38
4.5.2. Girders	40
4.5.3. Webs.....	42
4.5.4. End Web	43
4.5.5. Main Shells	43

4.5.6.	Corte de fibra	45
4.6.	Metodologia de cálculo da PE	46
4.6.1.	Âmbito e fronteiras	46
4.6.2.	Análise de inventário.....	47
4.6.3.	Análise de impacto	50
4.6.4.	Interpretação dos resultados	53
4.6.5.	Limitações da análise	64
5.	Conclusão	68
6.	Fontes Bibliográficas	70
Anexos	72
Anexo I –	Análise em STAN 2.6 do processo de produção do projeto RE45.2.....	72
Anexo II –	Balanço mássico em STAN 2.6 aos serviços de cantina e cafeteria.	80
Anexo III –	Base de dados para cálculo ACV utilizada.	82
Anexo IV –	Metodologia de cálculo do fator de impacto associado às pás produzidas na Ria Blades.	84

Índice de Figuras

Figura 1- Pirâmide informativa dos indicadores do desenvolvimento sustentável (adaptado de DGA, 2000).	2
Figura 2- Definições de biocapacidade e pegada ecológica. Adaptado de [URL 3]	8
Figura 3- Pegada ecológica vs Biocapacidade na região da América do Sul e Caraíbas. [URL 1]	9
Figura 4- Pegada ecológica vs Biocapacidade na Europa. [URL 1]	10
Figura 5- Representação esquemática das metodologias de cálculo da pegada ecológica. Adaptado de Nichols, 2003.	11
Figura 6- Modelo de determinação da pegada ecológica bottom-up (ACV).	12
Figura 7- Evolução nos métodos de aproveitamento da energia eólica ao longo dos séculos [URL 4].	15
Figura 8- Capacidade eólica global instalada, em MW [URL 7].....	16
Figura 9- Capacidade eólica nacional instalada, em MW [URL 9].....	17
Figura 10- Exemplos de aerogeradores VAWT (à esquerda) e HAWT (à direita).....	17
Figura 11- Aerogeradores upwind e downwind.....	18
Figura 12- Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal (HAWT) (Ribeiro, 2012).	20
Figura 13- Secção de uma pá, com destaque para as Shells superiores e inferiores e para as duas Webs (Faria, 2016).	21
Figura 14- Instalações da Ria Blades SA.	27
Figura 15- Serviços de suporte da Ria Blades SA.....	28
Figura 16- Organigrama da Ria Blades SA.	30
Figura 17- Layout atual (2018) da nave industrial da Ria Blades SA.	33
Figura 18- Componentes de uma pá eólica RE45.2 da Ria Blades SA (Ribeiro, 2012; Pinheiro, 2016).	36
Figura 19- Sequência da montagem da pá de aerogerador da RE 45.2 (Faria, 2016).....	38
Figura 20- Processo simplificado de produção de uma Root Joint.	39
Figura 21- Root Joints em stock, prontas para serem instaladas numa pá.....	40
Figura 22- Processo simplificado de produção de uma Girder.	41
Figura 23- Girder finalizada, pronta para ser instalada numa pá.....	41
Figura 24- Processo simplificado de produção de uma Web.	42
Figura 25- Web finalizada, pronta para ser instalada numa pá.	43
Figura 26- End Web finalizada, pronta para ser instalada numa pá.	43
Figura 27- Processo simplificado de produção das Main Shells.....	44
Figura 28- Molde utilizado para a produção de uma Main Shell.	45
Figura 29- Procedimento para a realização da etapa Análise de Inventário.	47
Figura 30- Mapa dos fornecedores das matérias primas utilizadas na produção da Ria Blades SA.51	
Figura 31- Representação da área de Vagos (a verde) e da área adicional hipotética correspondente à PE da Ria Blades SA (a vermelho).	54
Figura 32- Contribuição para a pegada ecológica total de cada um dos setores considerados.	54
Figura 33- Contribuição dos processos principais da empresa para a pegada ecológica total.....	55
Figura 34- Contribuição da resina, fibra de vidro e restantes materiais para a pegada ecológica, em termos absolutos.....	56
Figura 35- Contribuição da resina, fibra de vidro e restantes materiais para a pegada ecológica, em termos percentuais.	57
Figura 36- Contribuição dos vários projetos para a pegada ecológica da produção.	57
Figura 37- Contribuição dos pre-fabs para a pegada ecológica de uma pá.	58

Figura 38- Contribuição dos processos principais da empresa para a pegada ecológica total - Caso hipotético de má gestão.	60
Figura 39- Comparação (Resíduos) - Cenário atual vs Pior cenário	60
Figura 40- Comparação entre os fatores de impacto relativos à utilização das pás da Ria Blades SA e ao mix energético português.	63
Figura 41- Representação em STAN 2.6 do processo de produção global de uma pá RE45.2.	72
Figura 42- Representação em STAN 2.6 do processo de corte para a produção de uma pá RE45.2.	73
Figura 43- Representação em STAN 2.6 do processo de logística para a produção de uma pá RE45.2.	73
Figura 44- Representação em STAN 2.6 do processo de armazenagem de químicos para a produção de uma pá RE45.2.....	74
Figura 45- Representação em STAN 2.6 do processo de produção de uma pá RE45.2, no edifício dos moldes.....	75
Figura 46- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção das Webs de uma pá RE45.2.	76
Figura 47- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção da End Web de uma pá RE45.2.	76
Figura 48- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção das Girders de uma pá RE45.2.	77
Figura 49- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção da Root Joint de uma pá RE45.2.....	77
Figura 50- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção das Main Shells de uma pá RE45.2.....	78
Figura 51- Representação em STAN 2.6 do processo de produção de uma pá RE45.2, no edifício dos acabamentos.....	78
Figura 52- Representação em STAN 2.6 do processo de preparação de refeições em cantina da Ria Blades SA.	80
Figura 53- Excerto da base de dados criada para o cálculo da pegada ecológica.....	82

Índice de Tabelas

Tabela 1- Objetivos específicos e respectivas abordagens metodológicas.	3
Tabela 2- Componentes da pegada ecológica e definição segundo a WWF. [URL 2]	8
Tabela 3- Vantagens e desvantagens para ambos os tipos de aerogeradores [URL 6].	19
Tabela 4- Síntese comparativa dos processos produtivos de pás de aerogerador (Adaptado de Faria, 2016).	23
Tabela 5- Tipos de pás produzidos pela Ria Blades SA e algumas das suas características.....	35
Tabela 6- Tabela-exemplo utilizada no inventário dos materiais utilizados para a produção das Shells do projeto RE45.2.....	48
Tabela 7- Volume de produção dos vários projetos, em 2017.	58
Tabela 8- Aspectos relativos ao fluxo EcolInvent, de produção de um aerogerador de 2MW, de potência nominal [URL 10].....	61
Tabela 9- Aspectos relativos ao cálculo do impacto ambiental das pás RE45.2.....	62
Tabela 10- Valores de pegada ecológica da produção de uma pá RE45.2 e de um aerogerador (dados EcolInvent).	62
Tabela 11- Fatores de impacto relativos à produção das pás da Ria Blades SA.	63
Tabela 12- Excerto da tabela de compilação de fluxos EcolInvent utilizada.	65
Tabela 13- Fatores de impacto relativos à produção das pás da Ria Blades SA.	84

Abreviaturas

ACV – Análise de Ciclo de Vida

AICV – Análise de Impacto de Ciclo de Vida

BoM – Bills of Materials

EPI – Equipamento de Proteção Individual

gha – hectares globais

MIRR – Mapa Integrado de Registo de Resíduos

PE – Pegada Ecológica

RIM – Removable Infusion Material

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

tkm – tonelada*quilómetro

1. Introdução

Este trabalho enquadra-se no contexto de um estágio curricular realizado na empresa Ria Blades SA, no âmbito do seu Sistema de Gestão Ambiental (SGA), e visa a determinação da pegada ambiental desta organização, com vista à otimização do seu processo produtivo.

Desde há várias décadas que o planeta Terra tem sido alvo de acentuadas quedas na qualidade ambiental, como resultado direto da atividade humana. A combinação entre uma população mundial crescente e um consumo de recursos *per capita* igualmente em ascensão é a principal força motriz por detrás da degradação verificada à escala global (Nichols, 2003).

A resposta, ao nível global, para fazer face aos problemas ambientais foi criada sob a forma de uma expressão: desenvolvimento sustentável, entendido como sendo “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade de futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades” (Nichols, 2003). O conceito foi ganhando cada vez mais força ao longo dos anos, estando, atualmente, presente em todas as áreas da sociedade por intermédio dos seus representantes, desde políticos, a economistas, a diretores executivos de empresas, passando por cientistas e também, ambientalistas (Nichols, 2003).

O conceito assenta em três pontos essenciais (Nichols, 2003):

- (1) Os recursos naturais são finitos e existe um limite de capacidade de carga dos ecossistemas terrestres;
- (2) As metas económicas, ambientais e sociais devem ser atingidas dentro desses limites;
- (3) Existe necessidade de haver igualdade intra e intergerações.

No sentido de pôr em prática as bases teóricas do conceito de desenvolvimento sustentável, houve a necessidade da criação de indicadores.

“Indicators of sustainable development need to be developed to provide solid bases for decision-making at all levels, and to contribute to a self-regulating sustainability of integrated environment and development systems” (Nichols, 2003).

Genericamente, um indicador é uma ferramenta que fornece informação útil acerca de um sistema físico, social, económico ou ambiental, normalmente na forma numérica (Nichols, 2003). Potencialmente pode ser utilizado para fazer previsões, alertar os decisores políticos para as decisões mais prioritárias a tomar, definir estratégias, auxiliar na gestão do desempenho, bem como simplificar e melhorar a comunicação dos resultados (Branco, 2012).

Na Figura 1, é possível observar a pirâmide informativa dos indicadores do desenvolvimento sustentável que sintetiza as relações e hierarquia dos indicadores. Na base da pirâmide está presente a informação em bruto que pode ser trabalhada e transformada em dados estatísticos, normalmente é uma informação mais direcionada à comunidade científica. Por sua vez, as estatísticas formam a base para os indicadores simples, indicadores estes que podem ser utilizados, por exemplo, por políticos para transmitir uma mensagem. No topo da pirâmide estão os índices, que correspondem a um nível superior de condensação da informação, após a aplicação de um método de agregação aos indicadores (DGA, 2000).

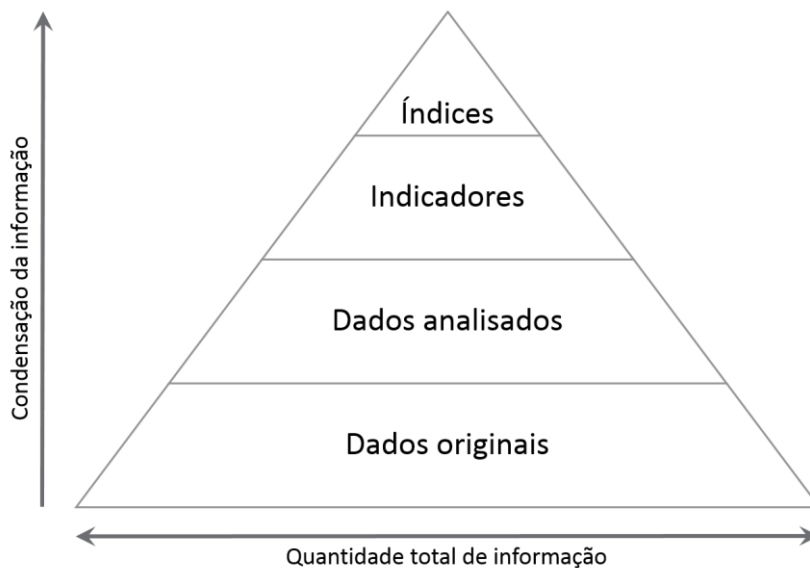


Figura 1- Pirâmide informativa dos indicadores do desenvolvimento sustentável (adaptado de DGA, 2000).

É neste contexto, inserido no grupo dos índices, que surgem as pegadas ambientais que permitem quantificar os recursos utilizados pelas atividades humanas e o impacto, para o planeta, decorrente da utilização dos mesmos. Desta forma, as pegadas afiguram-se como uma ferramenta extremamente útil no que ao desenvolvimento sustentável diz respeito.

Dentro do grupo de pegadas ambientais, a pegada ecológica (PE) é uma das que mais se destaca, permitindo acompanhar a capacidade regenerativa da biosfera, avaliar a oferta e procura ecológica atual, bem como as tendências históricas, que fornecem uma base para definir objetivos, identificar planos de ação e avaliar alternativas para atividades futuras (Branco, 2012; Nichols, 2003)(Branco, 2012).

A PE pode ser aplicada a diferentes escalas, desde a escala global à doméstica e mesmo à escala de um produto (van den Bergh and Verbruggen, 1999).

No entanto, a utilização da PE, por si só, não é suficiente para obter um resultado fiável, direcionado e com significado no contexto ambiental. É necessário adotar uma metodologia que inclua a perspectiva de ciclo de vida, qualquer que seja a escala que se esteja a considerar. Surge assim o conceito de Análise de Ciclo de Vida (ACV) que é um conceito que visa a análise detalhada de todos os aspetos ambientais de um dado sistema (produto ou serviço) e avalia o impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida (Alvarenga et al., 2012). Esta metodologia está dividida nas seguintes etapas:

- Definição do objetivo e âmbito;
- Análise de inventário (AICV);
- Análise de impacto;
- Interpretação dos resultados.

O primeiro é a definição do objetivo e do âmbito da análise, que inclui também a definição da unidade funcional (todos os *inputs* e *outputs* são relativos a esta unidade de referência).

A segunda etapa é de análise de inventário, que prevê uma análise do sistema em questão, como um processo de troca de fluxos entre os vários subsistemas. Inclui também a conceção do diagrama de processos e recolha de dados, para cada um dos processos.

A etapa seguinte é a de análise de impacto (AICV), que contabiliza os impactos das emissões e do uso das matérias primas, etapa em que se utiliza a PE para quantificar o impacto ambiental.

Por fim, a fase de interpretação dos resultados, onde os resultados são analisados crítica e comparativamente (Tremeac and Meunier, 2009).

No contexto de ACV, os indicadores têm um papel importante a desempenhar em todas as etapas, mas especialmente na etapa de análise de impacto, isto é, na quantificação do impacto ambiental decorrente do ciclo de vida de um produto ou serviço.

Neste caso em concreto, conforme referido anteriormente, o cálculo da PE é aplicado no âmbito da atividade industrial de uma unidade de produção de pás eólicas.

1.1. Objetivos

O objetivo do presente trabalho é estimar o impacto ambiental da atividade de uma fábrica de pás eólicas, a Ria Blades SA. Pretende-se em particular:

1. Identificar tipos de indicadores integrados de impacto ambiental das atividades industriais;
2. Fazer uma sistematização sobre metodologias de cálculo dos indicadores e de dados necessários;
3. Efetuar uma caracterização da atividade da empresa Ria Blades SA e do seu SGA, incluindo processo produtivo e serviços de suporte;
4. Identificar e quantificar todos os fluxos de materiais e energia;
5. Analisar o ciclo de vida das principais matérias primas e suas origens;
6. Estimativa do impacto ambiental da empresa e dos seus produtos, através do cálculo da PE.

1.2. Metodologia

Com base em cada um dos objetivos, foi definida uma abordagem metodológica, que teve em conta a sua especificidade, com vista à sua obtenção, como é possível verificar na Tabela 1.

Tabela 1- Objetivos específicos e respetivas abordagens metodológicas.

Nº	Objetivo específico	Abordagem metodológica	Capítulos
1	Identificar tipos de indicadores integrados de impacto ambiental das atividades industriais	Pesquisa de artigos científicos e relatórios existentes através de palavras-chave: indicadores de sustentabilidade, pegadas ambientais, pegada ecológica, energia eólica, aerogeradores.	1, 2, 3
2	Fazer uma sistematização sobre metodologias de cálculo dos indicadores e de dados necessários	Construção de esquema com os diferentes tipos de metodologia plausíveis de aplicar ao presente caso.	2
3	Efetuar uma caracterização da atividade da empresa Ria Blades SA e do seu SGA, incluindo processo produtivo e serviços de suporte	Consulta de relatórios realizados em anos anteriores; Complemento com informações recolhidas diretamente na empresa através do contacto direto com os processos e as equipas de trabalho; Realização de análises de fluxo de materiais e energia em STAN 2.6.	4
4	Identificar e quantificar todos os fluxos de materiais e energia	Recolha de dados junto dos diferentes colaboradores da empresa.	4
5	Analisar o ciclo de vida das principais matérias primas e suas origens	Definição da fronteira e unidade funcional. Análise de inventário. Seleção de indicador de impacto. Pesquisa de fluxos na base de dados EcolInvent. Cálculo do indicador através um <i>software</i> desenvolvido para o efeito.	4
6	Estimativa do impacto ambiental da empresa e dos seus produtos, através do cálculo da PE	Interpretação dos resultados obtidos e aplicação no contexto da empresa. Sugestões de melhoria.	4, 5

O cumprimento de todas as tarefas e a concretização de todos os objetivos específicos definidos, permitem o cálculo final da PE da empresa.

1.3. Estrutura

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos principais, incluindo este capítulo introdutório.

No segundo capítulo, procede-se a uma análise do estado da arte, isto é, uma análise aos pontos principais que concernem à PE, o que inclui uma breve análise histórica acerca do indicador, a explicação detalhada do conceito, a evolução ao longo dos anos quer no panorama nacional quer mundial, a sistematização das várias metodologias de cálculo a utilizar e, por fim, as vantagens e limitações do uso da PE.

No terceiro capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica acerca de energia eólica, começando por uma análise da evolução histórica dos métodos de aproveitamento da energia eólica, desde os tempos ancestrais até à atualidade, seguida da explicação do funcionamento de um aerogerador, tipos de aerogeradores existentes e comparação entre eles. Referem-se, ainda,

os impactos ambientais provocados pelo recurso a esta energia, concluindo com uma abordagem aos processos atualmente utilizados na produção de pás de rotor de aerogerador.

No quarto capítulo, está presente o caso de estudo com a caracterização completa da empresa Ria Blades SA, acompanhada de uma análise detalhada do processo produtivo – materiais utilizados, componentes produzidos, produto final e resíduos gerados. Apresenta-se a metodologia a aplicar ao caso e levantamento dos valores a apurar, através do contacto direto com os processos da empresa e os colaboradores. No final, faz-se a exposição da análise e discussão dos resultados à luz dos pressupostos e conceitos teóricos anteriormente apurados e no contexto da empresa, culminando com a apresentação de sugestões de melhoria, em virtude dos mesmos.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões e sugestões de desenvolvimentos futuros do trabalho realizado na Ria Blades SA.

2. Pegadas Ambientais

Como referido anteriormente, no contexto das pegadas ambientais, a PE é aquela que mais se destaca, sendo uma pegada mais global, que representa a soma das outras pegadas, como é explicado mais à frente.

Outras pegadas poderiam ser exploradas no presente capítulo, como é o caso da pegada de carbono ou da pegada de água, contribuindo para resultados igualmente interessantes. No entanto, o estudo realizado utiliza como indicador de impacto a PE, e, por essa razão, optou-se por fazer uma análise mais exaustiva deste indicador.

2.1. Origem e conceito

O conceito de PE foi inicialmente proposto em 1992 por William Rees e posteriormente documentado pelo mesmo, em colaboração com Mathis Wackernagel, em 1996.

A PE pode ser definida como a área biologicamente produtiva necessária para manter o consumo de recursos e energia, assim como absorver os resíduos produzidos por uma determinada população humana ou economia, considerando a tecnologia existente, independentemente da parte do planeta em que está situada (Branco, 2012). Assim, a PE apresenta-se como um indicador operacional simples, mas de imensa utilidade na monitorização do progresso no sentido do desenvolvimento sustentável e na manutenção do capital natural.

Este indicador, que representa a soma dos serviços ecossistémicos utilizados pelo Homem – uso de recursos, habitação, infraestruturas e produção de resíduos, utilizando a tecnologia e práticas de gestão existentes –, é constituído por *flows* de energia e de matéria, que são convertidos na área biologicamente produtiva necessária para os suportar (Galli et al., 2016; van den Bergh and Verbruggen, 1999).

Não obstante, é importante reconhecer que a PE é uma análise específica que depende de fatores relacionados com o tipo de localização (rural, suburbana ou urbana), com a escala (cidade, região, organização) e com o comportamento da população em estudo (Branco, 2012).

A PE é a pegada mais global e também a mais conhecida e utilizada pela comunidade científica, em geral. No entanto, devido ao criticismo a que está sujeita, principalmente por refletir um resultado tão agregado, houve a necessidade de divisão desta pegada em componentes para possibilitar análises mais específicas, entre elas a pegada de carbono, a pegada de água, a pegada de solo, a pegada de azoto, a pegada química, entre outros (Tabela 2). Estas componentes são complementares umas às outras e podem conduzir a resultados mais direcionados e específicos, no entanto a sua soma resulta na PE (Galli, 2015).

Tabela 2- Componentes da pegada ecológica e definição segundo a WWF. [URL 2]

Componente	Definição
Pegada de carbono	Calculada como a área florestal necessária para capturar as emissões de CO ₂ resultantes da queima de combustíveis fósseis, mudanças de uso do solo e processos químicos. As emissões de CO ₂ absorvidas pelos oceanos não são contabilizadas.
Pegada de pastagem	Calculada a partir da área usada para a produção de gado, para carne, laticínios e lã.
Pegada de área florestal	Calculada a partir da quantidade de madeira, pasta de madeira e derivados consumidos por país por ano.
Pegada de pesca	Calculada a partir da produção primária estimada necessária para suportar a captura de peixe e outras espécies aquáticas.
Pegada de solo agrícola	Calculada a partir da área utilizada para a produção de comida e fibra para consumo humano, para alimentar o gado, produção de rações, óleos e borracha.
Pegada de área construída	Calculada a partir da área de terreno utilizada para a construção de infraestruturas de natureza humana, incluindo transportes, habitações, indústrias e barragens.

Se, por um lado, a PE representa a área necessária para absorver todos os fluxos de energia e materiais utilizados pelo Homem, a biocapacidade é a área disponível para o fazer. Reveste-se, assim, de grande importância a determinação da biocapacidade da área em questão e utilização de ambos os indicadores para efeitos comparativos (Figura 1).

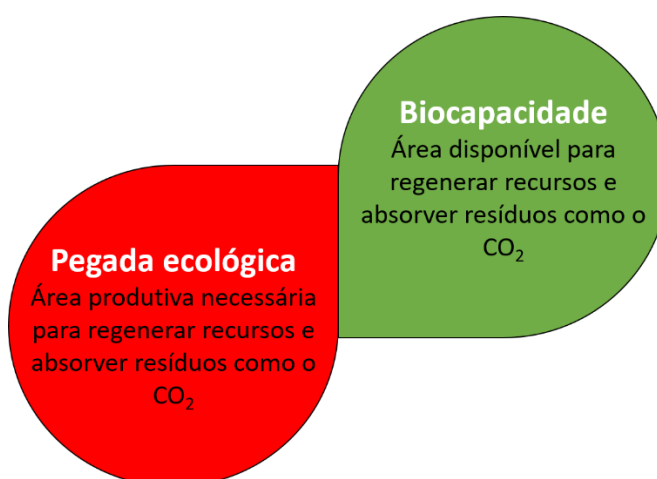


Figura 2- Definições de biocapacidade e pegada ecológica. Adaptado de [URL 3]

A comparação entre os dois permite obter o saldo ecológico e perceber em que estado se encontra a região em estudo. O saldo ecológico pode ser obtido através da seguinte equação.

$$\text{Saldo ecológico} = \text{Biocapacidade} - \text{Pegada ecológica}$$

Um bom indicador de sustentabilidade ambiental verifica-se quando o saldo ecológico é positivo, isto é, quando a biocapacidade é superior à PE. Nesse caso diz-se que existe uma reserva ecológica (Galli et al., 2016; van den Bergh and Verbruggen, 1999).

Na Figura 3, que representa a evolução da PE e da biocapacidade ao longo dos anos, na região da América do Sul e Caraíbas, é possível verificar a existência de uma grande reserva ecológica. Este facto, por si só, não significa que esses países adotem melhores práticas no que concerne ao ambiente porque, como mostra o gráfico, a PE tem vindo a aumentar. Porventura, o fator mais preponderante para que a biocapacidade se mantenha superior à PE, neste caso, é a existência da floresta da Amazônia, a maior reserva florestal do mundo.

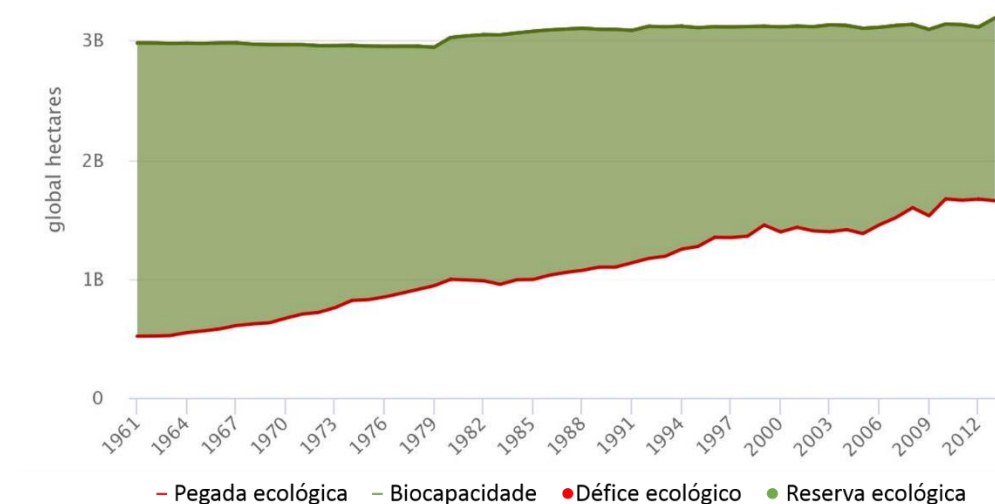


Figura 3- Pegada ecológica vs Biocapacidade na região da América do Sul e Caraíbas. [URL 1]

Por outro lado, quando se verifica o oposto, ou seja, quando a PE é superior à biocapacidade, fala-se em déficit ecológico.

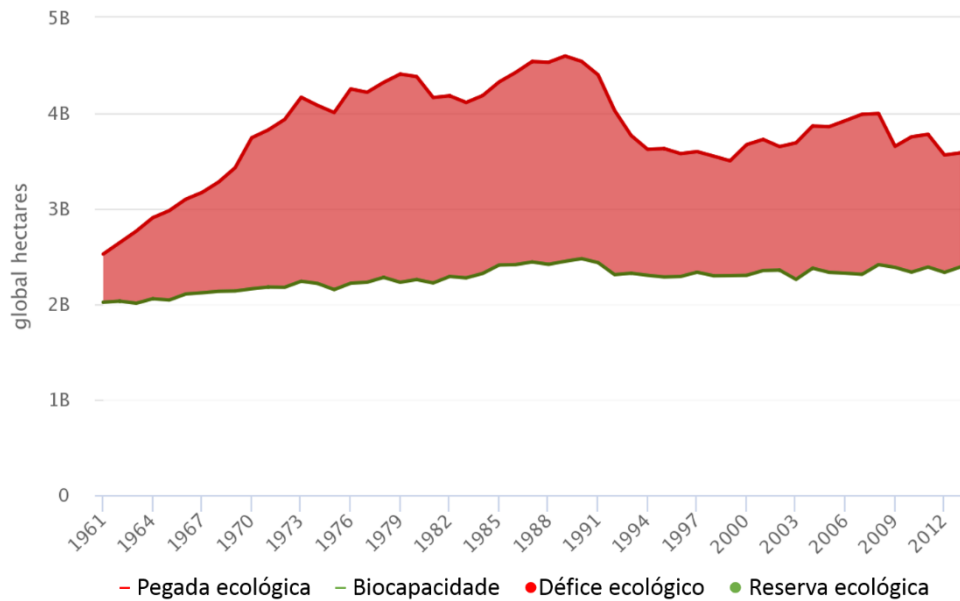


Figura 4- Pegada ecológica vs Biocapacidade na Europa. [URL 1]

Na Figura 4, que representa a evolução da PE e da biocapacidade ao longo dos anos, na Europa, verifica-se a existência de um défice ecológico. Ao contrário do exemplo anterior, a maioria dos países desta região são plenamente desenvolvidos, possuindo uma PE inevitavelmente superior, para além de que não existem grandes áreas biologicamente produtivas.

2.2. Metodologias de cálculo

Como foi referido anteriormente, a PE pode ser relativa a pessoas, atividades ou regiões, sendo necessário selecionar o método de cálculo mais adequado a cada caso. Existem dois principais métodos para o cálculo da PE, cada um com diferentes tipos de erros e diferentes vantagens associados: análise de processo e análise entradas-saídas (Nichols, 2003) (Figura 5).

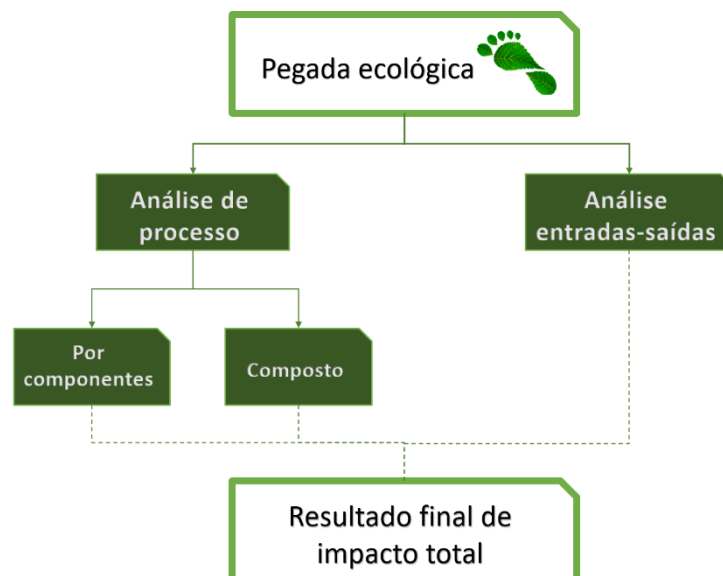


Figura 5- Representação esquemática das metodologias de cálculo da pegada ecológica. Adaptado de Nichols, 2003.

Seguidamente, são analisados os métodos apresentados na Figura 5, ao nível das suas caraterísticas e aplicações.

2.2.1. Análise de processo

Uma análise de processo considera um sistema e analisa as entradas e saídas de cada processo que o compõe.

Começa por identificar o objeto de análise (por exemplo, uma instituição, uma cidade, um país).

Seguidamente procede à criação de uma lista com todos os bens e serviços necessários para a manutenção ou produção do objeto em análise. Os *inputs* diretos de materiais e energia são contabilizados, enquanto os indiretos serão rastreados para posteriormente entrarem também na contabilidade da PE final. O processo continua com o rastreamento sucessivo das camadas de produção que dão origem ao produto final (Barrett, 2001; Nichols, 2003)

Dentro da análise de processo é ainda possível distinguir dois métodos diferentes: por componentes (*Component based approach*) e composto (*Compound approach*).

Para facilitar a compreensão desses dois métodos, refere-se, de seguida, de forma sucinta, o que caracteriza cada um deles.

Método por componentes

Ao invés de se focar no consumo de matérias-primas, no método por componentes ou *bottom-up* considera-se o efeito do transporte, energia, água e resíduos. Possui uma estrutura bastante simplista e percetível, principalmente porque é construído com base nas atividades mais

fundamentais de um determinado sistema (Barrett, 2001). Este método envolve dois passos essenciais (Branco, 2012):

- Identificação e contabilização de todos os elementos de consumo;
- Utilização de dados ACV para calcular a pegada.

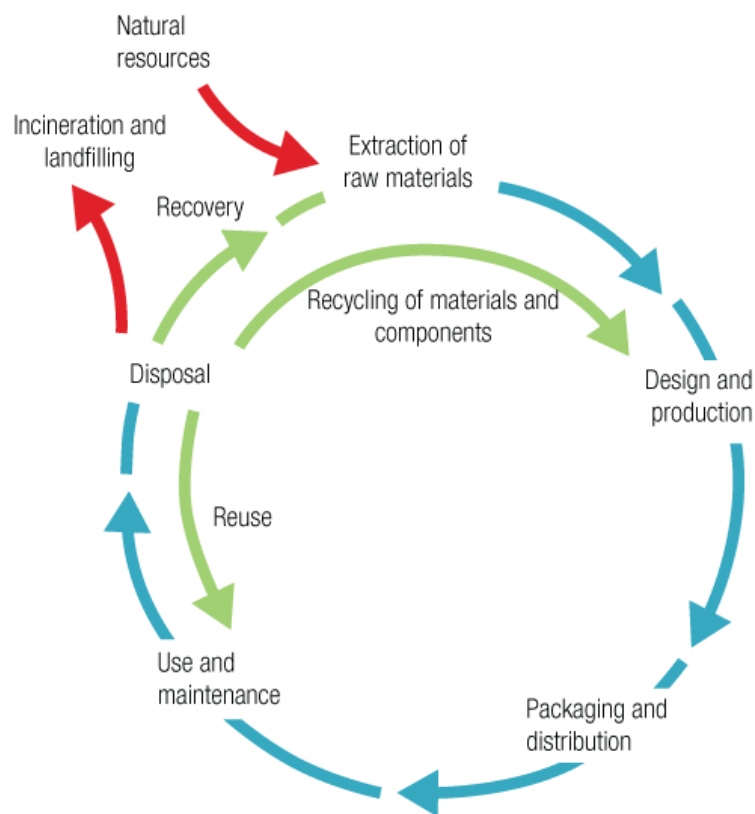


Figura 6- Modelo de determinação da PE bottom-up (ACV).

Genericamente, o modelo baseia-se na cadeia de processos representada na Figura 6. No fundo, trata-se de uma ACV. Os processos a considerar dependem da escala que se considerar (regional, local, industrial) e cada um deles tem associado um valor de impacto no ciclo de vida.

No final, o valor da PE vai ser o resultado da soma das componentes para cada parte do sistema que se considerar (Galli, 2015).

Método composto

O método de cálculo da PE composto, contrariamente ao anterior, é um modelo *top-down* que utiliza dados mais agregados, à escala nacional e internacional, normalmente valores médios para um dado setor (Branco, 2012). O consumo é calculado adicionando as importações para a produção e subtraindo as exportações (Nichols, 2003).

A PE final é obtida através da multiplicação dos valores *per capita* pela população total da região em questão (Nichols, 2003).

A utilização destes dados torna desnecessária qualquer informação acerca do uso final de cada recurso. É, portanto, um método mais interessante para fins de comparação entre países ou grandes áreas (Branco, 2012), mas que não permite obter resultados muito específicos acerca de um caso de estudo.

2.2.2. Análise entradas-saídas

Uma análise entradas-saídas utiliza tabelas entradas-saídas que representam os fluxos de bens e serviços entre setores de uma economia, normalmente em unidades monetárias, para um ano de referência. No entanto, e porque a determinação de fluxos de material assume a existência de proporcionalidade entre os fluxos físicos e monetários, é também possível determinar tabelas entrada-saída em unidades físicas (massa e energia) (Nichols, 2003).

O modelo é construído com base em dados da atividade económica de um dado país (região ou indústria), quantificando os consumos (entradas) verificados em cada sector de atividade para satisfazer a sua produção (saída). Este fluxo de bens intersectorial é designado por matriz de transações. Cada coluna representa as aquisições do sector de bens aos diferentes sectores para efetuar a produção, bem como remunerações, amortizações, impostos e importações. Cada linha respeita a um sector de atividade económica (Nichols, 2003).

As tabelas entradas-saídas apresentam grande interesse no seio da comunidade profissional pela sua versatilidade e por se basearem em valores empíricos. Estão normalmente associadas a estudos macroeconómicos, mas podem ser utilizadas ao nível empresarial. Por utilizarem valores empíricos, não apresentam resultados difíceis de provar na vida real, embora estejam sujeitas a distorções, erros e imprecisões (Nichols, 2003).

2.3. Vantagens e limitações

Apesar da inegável utilidade conferida pela PE, o conceito e os limites são alvo de algumas críticas por parte da comunidade científica (Galli, 2015). Neste tópico será feito um levantamento das vantagens e limitações associados a este índice, apontados pelos autores ao longo dos anos.

Vantagens

- Conceito simples e fácil de entender, é constituída por vários *flows* agregados e expressos numa maneira facilmente interpretável – área produtiva (Barrett, 2001; Galli et al., 2016; Nichols, 2003);
- Permite comunicar problemas relacionados com a sustentabilidade ambiental de forma perceptível à generalidade da população (Nichols, 2003);
- Pode ser utilizada para efeitos comparativos, a diferentes escalas (Barrett, 2001);

- É um dos poucos indicadores que considera as inter-relações entre a dimensão ecológica e socioeconómica – procura detetar padrões de consumo de recursos e de produção de resíduos (Nichols, 2003);
- Pode ser usada como indicador temporal para medir o progresso no sentido do desenvolvimento sustentável (Nichols, 2003);
- À escala local, pode ser utilizada para identificar quais os impactos mais significantes e consequentemente quais os aspetos a ter em conta no sistema de gestão ambiental de uma empresa (Nichols, 2003);
- Grande potencial de aplicação no sistema de gestão ambiental de uma empresa, particularmente na área da ecoeficiência ou redução do uso de recursos (Branco, 2012);
- Permite comparar, tanto o seu valor global como o valor das componentes que a compõem (Barrett, 2001).

Limitações

- A PE é um indicador unidimensional que resulta da soma dos impactos diretos e indiretos da ação do Homem, em termos de uso do terreno. Esta conversão é incompleta, uma vez que nenhuma informação é recolhida acerca da intensidade deste uso do terreno (van den Bergh and Verbruggen, 1999);
- Dificuldade em obter fatores precisos e atualizados, em bases de dados, para os diferentes materiais (Branco, 2012);
- O resultado da PE é apenas um valor teórico e hipotético, frequentemente mal interpretado (van den Bergh and Verbruggen, 1999);
- Dificuldade na definição dos limites de análise, de modo a evitar o problema da dupla contagem (Branco, 2012);
- O valor da PE está intimamente ligado com as fontes de riqueza, isto é, a zonas mais ricas frequentemente estão associadas maiores pegadas (van den Bergh and Verbruggen, 1999);

A PE não é uma medida do impacto total da atividade humana, mas sim uma estimativa da pressão humana nos ecossistemas, funcionando como um mecanismo de aviso e promovendo a discussão científica sobre os limites ecológicos (Galli et al., 2016).

A partir do momento em que os limites de cálculo e o âmbito estão bem definidos, a PE pode ser extremamente útil e conferir resultados importantes no que à gestão estratégica do ambiente diz respeito (Nichols, 2003).

3. Energia eólica e ambiente

Desde a história antiga, o ser humano tem aproveitado a energia do vento. Em 5000 A.C. os barcos usavam energia do vento para navegarem no Nilo. Em 200 A.C., pequenos moinhos de vento na China eram usados para bombear água, enquanto moinhos de eixo vertical eram usados na Pérsia e no Médio Oriente para moer os grãos [URL 5] (Figura 7).

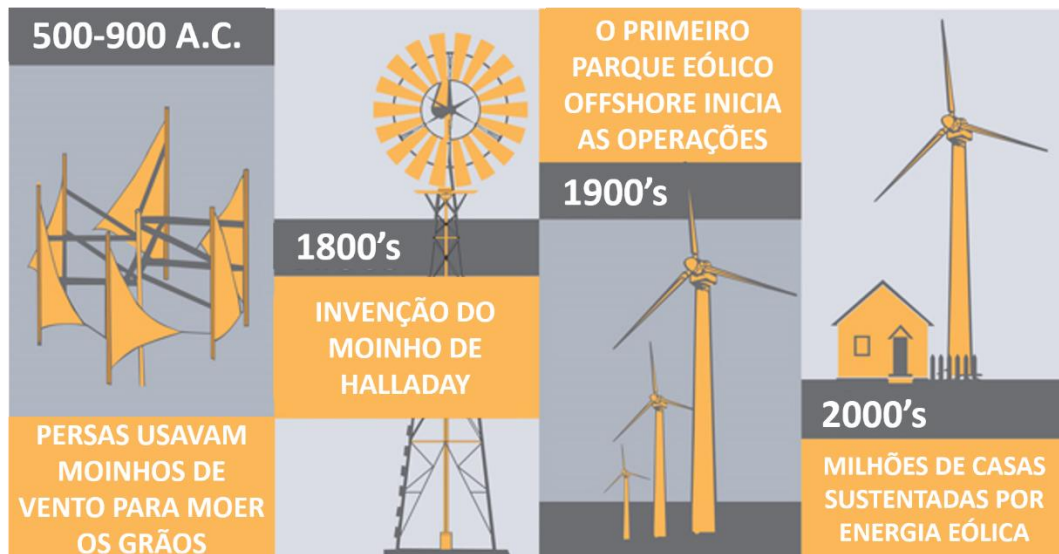


Figura 7- Evolução nos métodos de aproveitamento da energia eólica ao longo dos séculos [URL 4].

Novos métodos de aproveitar a energia do vento foram disseminados por todo o globo com o passar dos anos. Por alturas do século XI, populações no Médio Oriente começavam a utilizar o moinho para produção agrícola extensiva. Os holandeses refinaram o moinho e adaptaram-no para drenar lagos e pântanos no delta do Rio Reno [URL 5].

Em meados do século XVIII, os moinhos começaram a ser utilizados para bombear água para quintas e fazendas. Apareceram os moinhos que utilizavam pás feitas de aço que aumentavam a eficiência [URL 4].

No início do século XIX, começou-se a produzir energia elétrica através de energia eólica para alimentação das casas e mesmo de algumas centrais e indústrias. Os primeiros *offshores* apareceram e o mercado começou a virar as atenções para as potencialidades da energia eólica [URL 5].

Na segunda metade do século XX, as tecnologias de energia eólica foram substancialmente melhoradas devido à crise do petróleo de 1970. Por esta altura, verificava-se que as variações na utilização de energia eólica estavam intimamente ligadas com as variações no preço do petróleo. A partir daí foram desenvolvidas políticas para incentivar o desenvolvimento do mercado da energia eólica. Para além dos países pioneiros como a Alemanha, os Estados Unidos, Dinamarca ou

Espanha, países como a China e a Turquia fizeram tremendos esforços para desenvolver a indústria da energia eólica (Leung and Yang, 2012).

Atualmente, os geradores movidos a energia eólica operam em toda a gama de tamanhos, desde pequenas turbinas para alimentação de casas isoladas a parques eólicos com capacidades na ordem dos gigawatts (GW) que produzem eletricidade para redes nacionais [URL 4]. Prevê-se que em 2020, 5% de toda a energia mundial seja proveniente de fontes eólicas (Leung and Yang, 2012), que, a par da energia proveniente da biomassa é a fonte de energia renovável mais promissora e, de longe, a que produz eletricidade mais verde (Tremeac and Meunier, 2009).

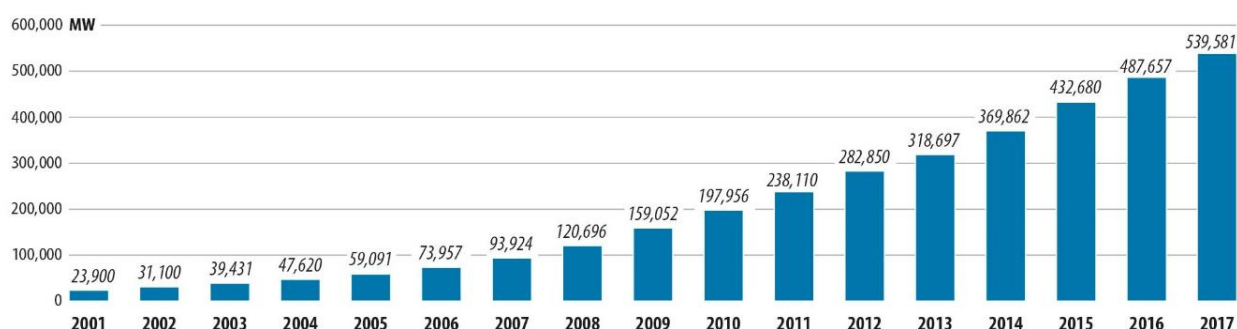


Figura 8- Capacidade eólica global instalada, em MW [URL 7].

É possível verificar pelo gráfico da Figura 8 que desde o início do século XXI, a capacidade eólica global instalada aumentou consideravelmente, com um crescimento médio anual de 30%. No final do ano de 2001 a capacidade instalada rondava os 24 GW, valor que quando comparado com o valor de capacidade instalada no final de 2017 (em apenas 16 anos), 540 GW, é quase irrisório.

Também no caso de Portugal se verifica uma tendência crescente, quer ao nível da capacidade eólica instalada, quer ao nível da produção. Esta afirmação torna-se evidente através da análise da Figura 9.

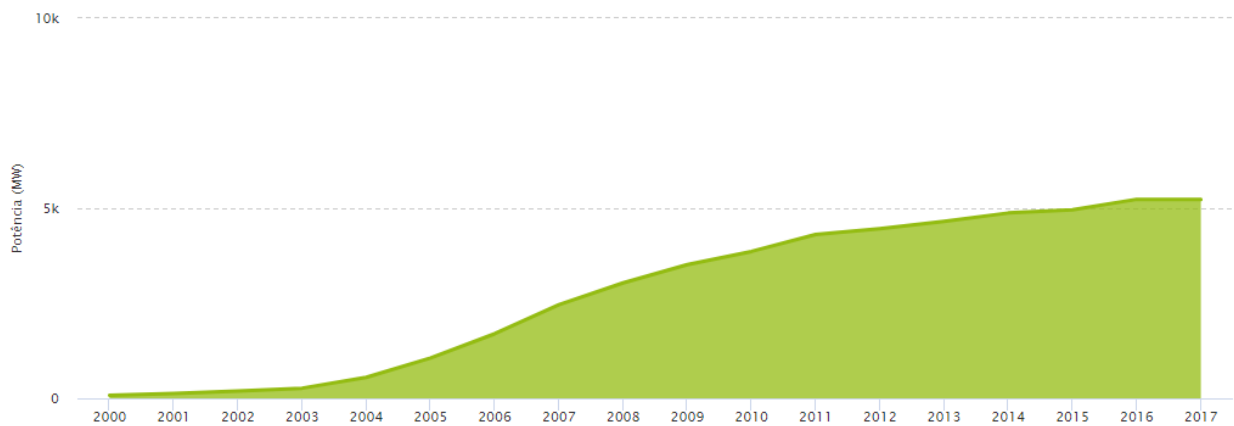


Figura 9- Capacidade eólica nacional instalada, em MW [URL 9].

Atualmente, cerca de 1/4 da eletricidade produzida em Portugal tem origem eólica [URL 9].

3.1. Tipos de aerogeradores

Como referido anteriormente, ao longo dos tempos foram criados e desenvolvidos uma vasta gama de moinhos de vento, turbinas eólicas e aerogeradores. No contexto deste trabalho, importa focar aqueles que continuam a ser utilizados atualmente e que apresentam algum potencial ambiental e económico. Existem, portanto, dois principais tipos de aerogeradores, classificados pelo seu formato, como turbinas eólicas de eixo horizontal (HAWT) ou vertical (VAWT) (Figura 10) (Faria, 2016; Ribeiro, 2012).



Figura 10- Exemplos de aerogeradores VAWT (à esquerda) e HAWT (à direita)

Nas turbinas de eixo horizontal, as pás têm rotação sob um eixo paralelo ao chão e são as mais comuns, apresentando uma eficiência cerca de 50% superior à alternativa de eixo vertical (Ribeiro, 2012).

As forças que nelas atuam provocando movimento, são, essencialmente, forças de sustentação (lift) e forças de arrasto (drag). Estando as forças de sustentação dependentes da geometria do aerogerador e do ângulo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo), os aerogeradores devem possuir mecanismos que garantam uma posição permanentemente perpendicular em relação à direção do vento (CRESESB, 2008).

Este tipo de aerogerador pode ser constituído por uma pá e um contrapeso, duas pás, três pás ou múltiplas pás (*multivane fans*).

Os mais utilizados para geração de energia elétrica são os de do tipo hélice, normalmente compostos por três pás ou, em alguns casos (velocidades médias muito altas e possibilidade de geração de maior ruído acústico), uma ou duas pás.

As pás podem ter as mais variadas formas e utilizar vários materiais, como madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada (CRESESB, 2008).

Dependendo da posição relativa entre o rotor e a direção do vento, é possível distinguir dois tipos de aerogeradores: *upwind* e *downwind* (Figura 11). Em sistemas *upwind*, o vento colide frontalmente com o rotor e é necessária a existência de mecanismos que mantenham o rotor perpendicular à direção do vento. Em sistemas *downwind* a orientação realiza-se automaticamente (CRESESB, 2008).

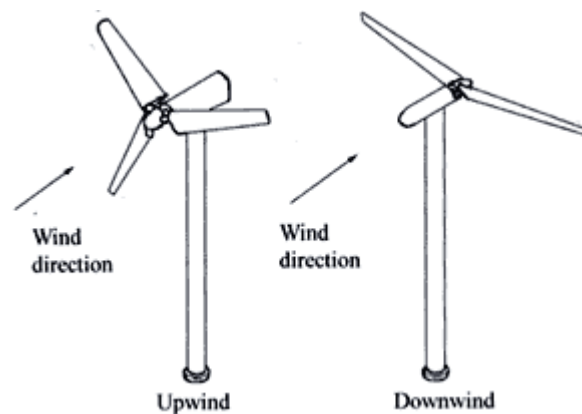


Figura 11- Aerogeradores upwind e downwind.

Nas turbinas de eixo vertical, as pás têm rotação sob um eixo perpendicular ao chão (Ribeiro, 2012). A principal vantagem é não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do dispositivo. Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (*lift*) e por forças de arrasto (*drag*). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices (CRESESB, 2008).

Devido às diferenças no *design*, conceito e mesmo no modo de operação de ambas os tipos de aerogeradores, a cada um deles estão associadas vantagens e desvantagens, como é possível consultar na Tabela 3.

Tabela 3- Vantagens e desvantagens para ambos os tipos de aerogeradores [URL 6].

	HAWT	VAWT
Vantagens	✓ Elevada altura permite acesso a ventos mais fortes	✓ Manutenção relativamente simples, uma vez que o gerador e caixa de controlo se encontram na parte inferior do aerogerador
	✓ Capacidade de adaptar as pás à direção do vento	✓ Não depende da direção do vento
	✓ Elevada altura permite a colocação em zonas desniveladas e mesmo zonas não continentais	✓ Capaz de operar com velocidades de vento mínimas
Desvantagens	✗ Dificuldade em operar com baixas velocidades do vento	✗ Movimento constante das pás, por vezes em contracorrente
	✗ Construção e transporte requerem bastantes recursos	✗ Menor eficiência
	✗ Interfere com radares nas proximidades	✗ Não competitivo ao nível da relação custo/benefício
	✗ Interfere com a paisagem	

Para além das características específicas de cada aerogerador, a sua instalação pode ser feita *onshore* ou *offshore*, isto é, em zonas continentais ou não continentais.

Atualmente existe um interesse crescente na utilização do vento *offshore*, isto é, em locais fora do continente, como oceanos. Em *offshore*, verificam-se dois principais aspetos (Leung and Yang, 2012):

- O vento é normalmente mais forte e mais uniforme;
- A distância para o continente é grande.

Desta forma, é possível utilizar maiores aerogeradores, mais eficientes e mais barulhentos, uma vez que, não terá impacto nem visual nem auditivo para o ser humano (Leung and Yang, 2012).

3.2. Funcionamento e componentes de um aerogerador

A função de um aerogerador é transformar a energia cinética do vento em energia mecânica. Essa energia mecânica é, posteriormente, convertida em energia elétrica através de um gerador (Ribeiro, 2012). É possível distinguir algumas etapas, desde a recolha da energia eólica à sua conversão em energia elétrica:

- O vento sopra numa dada direção;
- O sistema de guinagem roda o aerogerador de modo a que este fique favorável ao vento;
- O vento, ao atravessar mais rapidamente os lados largos da superfície da pá, origina uma zona de baixa pressão. A diferença de pressão entre as zonas largas e finas provoca uma força ascendente que induz a rotação do sistema (Faria, 2016). A velocidade induzida pelo vento está compreendida entre 0-20 rpm;
- O eixo principal do rotor e caixa de velocidades rodam dentro da *nacelle*;
- A caixa multiplicadora (composta por várias rodas dentadas), aumenta a velocidade de rotação para cerca de 1800 rpm;
- O eixo de alta rotação liga-se à caixa de transmissão e o gerador produz energia elétrica.

Como referido anteriormente, existem dois tipos principais de aerogeradores. Neste trabalho, o foco irá incidir sobre as turbinas de eixo horizontal, uma vez que são as mais utilizadas mundialmente e cujas pás são produzidas pela Ria Blades SA.

Uma HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) é constituída por cinco componentes principais, como expresso na Figura 12.

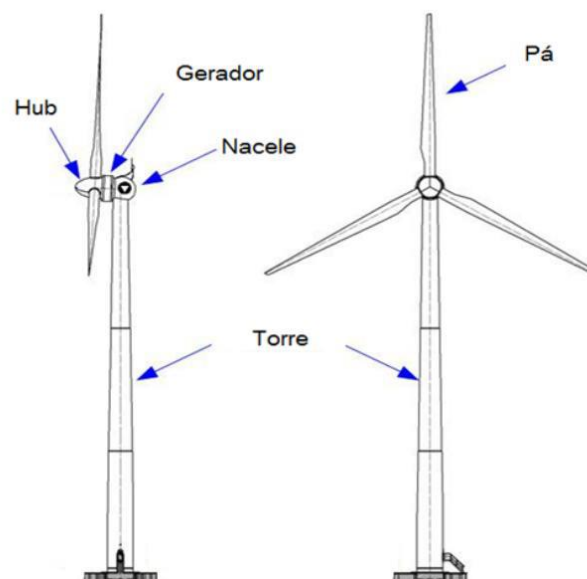


Figura 12- Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal (HAWT) (Ribeiro, 2012).

Cada um dos elementos presentes na Figura 12 tem um papel distinto a desempenhar no funcionamento do aerogerador.

→ Torre – É o elemento que suporta todos os restantes componentes na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica (Ribeiro, 2012).

→ Nacelle – É o compartimento que contém o eixo principal e todos os componentes a ele ligados, como o gerador, a caixa multiplicadora e o controlo eletrónico (Ragheb, 2014).

→ Rotor ou hub – É o componente que efetua a transformação da energia cinética do vento em energia mecânica. Posteriormente, a *hub* transmite essa energia ao gerador, através da caixa multiplicadora (Ribeiro, 2012). As pás estão ligadas pelo hub ou rotor, o que as permite rodar sobre o mesmo eixo. Por sua vez, o rotor é suportado pela torre e está ligado aos outros componentes, como o transmissor, o gerador e a *nacelle*. Geralmente, contém o sistema de guinagem, que permite a adaptação do rotor às mudanças de direção do vento (Ragheb, 2014). A forma do rotor e o ângulo que faz em relação ao vento afetam a sua performance.

→ Pás – São os componentes que captam a energia do vento e a transmitem à *hub*. Este é um dos elementos mais importantes neste tipo de sistema, sendo o design feito com vista ao cumprimento de cinco objetivos (Ribeiro, 2012):

- Captura do máximo de energia possível;
- Minimização da carga e das vibrações na turbina;
- Operação em temperaturas entre os -40°C e +40°C;
- Tempo de vida útil médio de 20 a 25 anos;
- Peso reduzido.

Tendo em conta os objetivos anteriores e outras considerações aerodinâmicas, a secção transversal de uma pá apresenta uma configuração assimétrica com o lado mais liso virado para o vento. O perfil é geralmente oco, constituído por duas estruturas com o formato de conchas coladas (*Shells*) e entre elas, para conferir maior resistência e rigidez, são coladas *Webs*. A pá contém ainda 3 pontos metálicos que funcionam como pára-raios.

Na Figura 13, é esquematizada a secção de uma pá de aerogerador, exibindo as *Shells* superiores e inferiores e as duas “*Webs*” (Faria 2016).

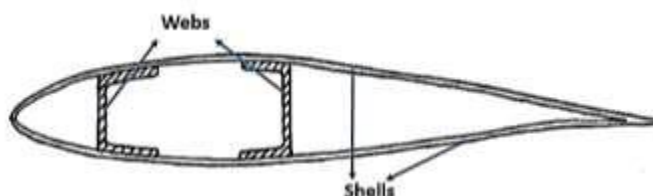


Figura 13- Secção de uma pá, com destaque para as *Shells* superiores e inferiores e para as duas *Webs* (Faria, 2016).

→ Gerador – Converte a energia mecânica da rotação do eixo em energia elétrica (Ribeiro, 2012).

3.3. Aerogeradores e impactos ambientais

Os desafios relacionados com as alterações climáticas e segurança energética determinam que as energias renováveis serão fulcrais num futuro próximo (Wang and Wang, 2015). Por isso mesmo, observa-se uma preocupação crescente acerca das necessidades energéticas e poluição ambiental. No sentido de reduzir estas preocupações, estão em andamento estratégias de poupança de energia, tecnologia e fontes alternativas de energia a ser aplicadas aos diferentes setores. Neste contexto, a aposta na energia eólica afigura-se como uma solução para satisfazer as necessidades energéticas e reduzir a poluição ambiental (Saidur et al., 2011).

Trata-se de um tipo de energia mais limpo, não sendo tão poluente como as centrais que utilizam combustíveis fósseis, como carvão ou gás natural. No entanto, o facto de não utilizar combustíveis fósseis, não é suficiente para afirmar-se que é a melhor solução para o ambiente. É necessário recorrer-se a estudos ACV para confirmar que, de facto, são uma energia mais verde (Tremeac and Meunier, 2009).

Os aerogeradores não produzem emissões atmosféricas que causam chuvas ácidas ou gases de efeito de estufa (GEE). Por outro lado, é também mais barato de implementar comparativamente com outros tipos de energias renováveis. Os aerogeradores podem também ser construídos em quintas ou parques eólicos, melhorando a economia das zonas rurais onde se encontram os melhores locais para geração de energia eólica (Saidur et al., 2011).

A energia produzida em poucos meses de operação por um aerogerador é suficiente para compensar os custos ambientais de produção e transporte do mesmo (Saidur et al., 2011). No entanto, o uso de energia eólica pode conduzir a impactos inesperados nos ecossistemas, devido ao conjunto de processos que compõem a cadeia produtiva de energia eólica (extração de matéria-prima, construção, conversão de energia, etc.), o que pode gerar impactos ambientais na atmosfera, solo, água e organismos vivos (Wang and Wang, 2015). Entre os impactos ambientais encontram-se:

- Potencial de interferências com radares e infraestruturas de telecomunicações;
- Eliminação de biosfera com o desbaste para a montagem do aerogerador;
- Produção de campos magnéticos, tal como qualquer central de produção de energia elétrica;
- Poluição sonora devido ao funcionamento das pás dos rotores;
- Interferência nas paisagens;
- Morte da fauna local, nomeadamente pássaros e morcegos.

É, portanto, necessário realizar estudos e avaliações prévias acerca da implementação de um aerogerador. Se esta etapa for feita cuidadosamente, é possível minimizar substancialmente os impactos negativos associados a este tipo de dispositivos (Saidur et al., 2011).

3.4. Processos de produção de pás de aerogerador

A produção de pás de aerogerador não é, por norma, muito automatizada, isto porque as tecnologias existentes não são capazes de fabricar produtos com a mesma qualidade que as técnicas manuais. Além disso, a vasta gama de formas e tamanhos das peças reduzem a capacidade de automatização. Por esta razão, a maioria dos processos de fabrico de pás de aerogerador exige muita mão-de-obra.

Na produção, não só das pás de aerogeradores, como também das peças que as constituem, são aplicadas diversas técnicas de manufatura, entre elas (Faria, 2016):

- *Wet hand lay-up*;
- *Filament winding*;
- *Prepregs*;
- *Vacuum-assisted resin transfer moulding* (ou infusão);
- *Seeman composite resin Infusion molding process* (SCRIMP);
- *Resin film infusion* (RFI).

Estas técnicas podem sofrer algumas alterações, de forma a facilitar os processos e a aumentar a qualidade do produto final. É também possível que duas técnicas se complementem.

Na Tabela 4 é apresentada uma síntese comparativa dos processos produtivos aplicados na produção de pás de aerogerador.

Tabela 4- Síntese comparativa dos processos produtivos de pás de aerogerador (Adaptado de Faria, 2016).

Etapas/Processo	Wet hand layup	Prepregs	VARTM	Filament Winding	SCRIMP	RFI
Aplicação das camadas de reforço	Manual	Manual	Manual	Automática	Manual	Manual
Aplicação de resina	Manual (uso de rolos)	Fibra pré-impregnada	Sucção a vácuo	Automática	Sucção a vácuo	Sucção a vácuo
Capacidade de automação	Baixa	Elevada	Baixa	Elevada	Baixa	Baixa
Duração do processo	-	Baixa	Média	Muito baixa	-	-
Custo	Médio	Elevado	Baixo	Baixo	Muito baixo	Médio

3.4.1. Wet hand lay-up

É a técnica de fabrico de pás de aerogeradores mais antiga. Neste processo, as fibras são impregnadas com resina em molde aberto, com o auxílio de rolos. Posteriormente, são submetidas a vácuo para comprimir as camadas. A cura dá-se nas condições atmosféricas [URL 11].

Vantagens:

- Processo muito simples;
- Baixo custo das ferramentas;
- Combinação de uma vasta gama de fibras e resinas.

Desvantagens:

- Limitações ao nível da higiene, segurança e ambiente, por ser um processo aberto;
- A qualidade do produto final está muito dependente do fator humano;
- Requer resinas de baixa viscosidade;
- A mão-de-obra é bastante dispendiosa.

3.4.2. Filament Winding

Nesta técnica, o material fibroso e a resina são enrolados juntos, em torno de um rolo. Pode utilizar uma vasta gama de fibras e resinas para conferir as características necessárias ao produto final. É um processo muito eficiente para fabricar material compósito barato, leve e resistente [URL 11].

Vantagens:

- Baixo peso e alta resistência dos compósitos;
- Produção pode ser bastante rápida;
- Requer menos mão-de-obra, o que o torna num processo menos oneroso do que o anterior.

Desvantagens:

- O produto final tem uma superfície demasiado áspera, o que não é aceitável na parte superior da pá;
- A viscosidade e vida útil da resina têm de ser cuidadosamente escolhidas;
- Dificuldade em produzir certas formas.

3.4.3. Prepregs

Na técnica *prepreg*, o material fibroso é pré-impregnado com resina a baixa temperatura para formar um produto intermediário. Este é, posteriormente, sujeito à temperatura ambiente para descongelar. Segue-se um processo de aplicação de vácuo para comprimir as camadas de fibra. O processo de cura é a última etapa [URL 11].

Vantagens:

- É mais fácil controlar e obter materiais com propriedades constantes e com maior teor em fibra, o que confere menor peso e maior robustez ao produto final;
- Processo com poucas limitações ao nível da higiene, segurança e ambiente.

Desvantagens:

- Vácuo é necessário neste processo, o que aumenta o custo;
- É necessário forno para o processo de cura;
- Difícil armazenar peças complexas resultantes deste processo.

3.4.4. Vacuum-assisted resin transfer moulding (VARTM)

A tecnologia VARTM é também conhecida por infusão. Neste método, várias camadas de fibra de vidro são sobrepostas sobre o molde, sem aplicação de resina. Posteriormente, as camadas são hermeticamente isoladas e sujeitas a um processo de infusão de resina a vácuo. Após a impregnação total do material fibroso, o laminado é sujeito a um processo de cura a alta temperatura [URL 11].

Vantagens:

- Bom controlo ao nível de higiene, segurança e ambiente, uma vez que se trata de um processo fechado;
- Grandes volumes de fibra podem ser sobrepostos e com poucos espaços vazios entre ele;
- Mão-de-obra do processo é barata.

Desvantagens:

- Por vezes, basta uma pequena fração de fibra não ser impregnada e corre-se o risco de arruinar toda a peça.

3.4.5. Seeman Composite Resin Infusion Molding Process (SCRIMP)

Neste processo, as fibras são empilhadas no molde e cobertas com uma camada de uma espécie de tecido e uma camada sólida. A estrutura é mantida em vácuo para remoção dos vazios. Após o tratamento a vácuo, a resina é transferida do tecido para as camadas de fibra. A diferença entre o método SCRIMP e VARTM é que o processo inicial, no SCRIMP, é realizado em molde aberto, enquanto no VARTM todos os passos são realizados em molde fechado [URL 11].

Vantagens:

- Menor custo do material em relação ao VARTM;
- Permite produzir maiores componentes.

Desvantagens:

- Processo complexo;
- A resina tem de possuir baixa viscosidade.

3.4.6. Resin Film Infusion (RFI)

Neste processo, a fibra seca é empilhada com camadas semi-secas de resina. O conjunto é sujeito a vácuo para remover o ar e comprimir as camadas. Segue-se um processo de cura a altas temperaturas e o compósito está terminado [URL 11].

Vantagens:

- Quantidade de vazios geralmente muito baixa;
- Menos oneroso que o processo de prepregs;
- Bom controlo ao nível de higiene, segurança e ambiente.

Desvantagens:

- Custo de operação alto;
- Custo das infraestruturas alto.

4. Pegada Ecológica da Ria Blades SA

Ao longo deste capítulo é feita a caracterização completa da unidade industrial da Ria Blades SA – fundação, localização, matérias-primas utilizadas, instalações e *layout*, processo produtivo geral e especificidades; seguindo-se, numa segunda parte, a escolha da metodologia a utilizar para a determinação da PE da unidade fabril, acompanhada da explicação pormenorizada acerca da mesma.

Por último, apresentam-se os resultados obtidos e uma análise crítica acerca dos mesmos à luz dos pressupostos teóricos.

4.1. Apresentação da empresa

A Ria Blades SA é uma empresa líder de mercado na produção de pás de rotor para aerogeradores, situada em Vagos, no distrito de Aveiro. Na Figura 14 é apresentada uma fotografia da unidade fabril da Ria Blades SA.



Figura 14- Instalações da Ria Blades SA.

Foi fundada na sequência do concurso público nacional, lançado pelo governo português em 2007, e que se denominava “Atribuição de capacidade de injeção de potências na rede elétrica de serviço público para a energia elétrica produzida em parques eólicos”, concessionado pelo consórcio Ventinveste (constituído, em 2007, pela Galp, Martifer, Repower, Efacec e Enersis) (Pinheiro, 2016; Ribeiro, 2012). Em 2009, a Ria Blades SA iniciou a sua atividade, tendo sido produzida a primeira pá de aerogerador, após um ano (Faria, 2016).

Atualmente, a Ria Blades SA produz pás de aerogerador para a multinacional alemã Senvion, que é o seu único cliente. Em Portugal, o grupo Senvion é constituído pela Ria Blades SA e pela Ventipower, que produz as turbinas e os *hubs* e encarrega-se posteriormente da montagem do aerogerador no local de operação. A Senvion é um dos principais fabricantes de centrais de energia eólica do mundo, estando presente em 14 países da Europa, 3 da América e 3 da Ásia, entre eles França, Portugal, Itália, Espanha, Grécia, Reino Unido, Austrália e Canadá (Faria, 2016).

A unidade fabril da Ria Blades SA conta com cerca de 1300 trabalhadores e é certificada pelas normas NP EN ISO 9001:2015 e NP EN ISO 14001:2015 e, mais recentemente, pela OHSAS 18001:2007. Possui, ainda, certificação DNV-GL (aprovação para o fabrico de componentes plásticos reforçados com fibras (FRP)).

Ao nível organizacional, a empresa conta com alguns serviços de suporte à produção, representados no esquema da Figura 15.

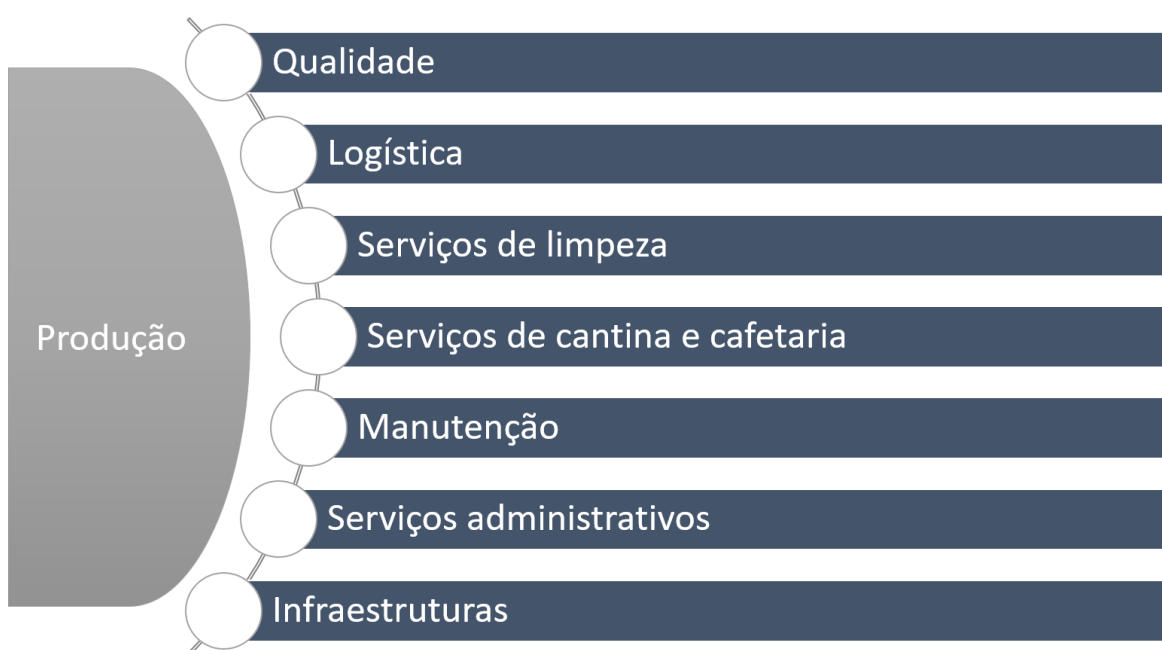


Figura 15- Serviços de suporte da Ria Blades SA.

Cada um dos serviços de suporte (Figura 15) tem um papel a desempenhar no normal funcionamento da empresa e no cumprimento das suas metas e objetivos. Deste modo:

- Qualidade – acompanha todo o processo de produção, possuindo mecanismos para controlo e validação da qualidade dos produtos dele provenientes;
- Logística – é responsável pela receção, armazenamento e encaminhamento dos materiais para a produção e pela movimentação de cargas;
- Serviços de limpeza – serviço realizado por uma empresa subcontratada para garantir boas condições de higiene nas instalações da Ria Blades SA;

- Serviços de cantina e cafeteria – serviço realizado por uma empresa subcontratada para fornecer as refeições, diariamente, a todos os colaboradores da Ria Blades SA;
- Manutenção – monitoriza e controla os equipamentos da fábrica, nomeadamente intervenções nos moldes de produção;
- Serviços administrativos – serviço de apoio a toda a produção
- Infraestruturas – departamento responsável pelas infraestruturas da fábrica, desde instalações de gás, centrais de refrigeração, entre outros.

Na figura Figura 16 é possível observar o organigrama da empresa.

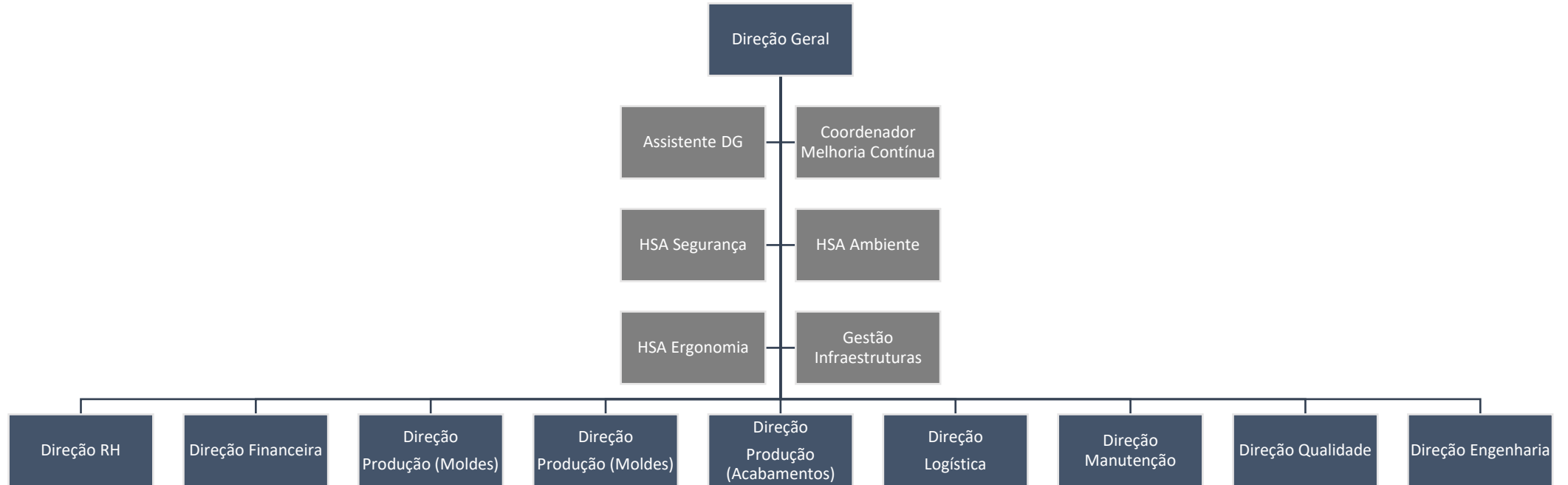


Figura 16- Organigrama da Ria Blades SA.

4.2. Organização e *layout*

A unidade fabril da Ria Blades SA é constituída por várias secções, como é possível observar pelo *layout* da Figura 17. Seguidamente, estas são enumeradas e caracterizadas, de acordo com o fim a que se destinam:

- Edifício comum

Este é o edifício onde se dá a entrada dos trabalhadores e é composto pelos escritórios, balneários e cantina.

- Edifício dos moldes

Destina-se à produção das Main Shells, *pre-fabs* (à exceção das *Root Joints*) e à montagem das pás. Possui, também, várias secções onde são armazenados todos os materiais necessários à produção, uma secção de corte das fibras, o departamento de manutenção, que monitoriza e controla os equipamentos da fábrica, o departamento de engenharia, o laboratório da qualidade e áreas técnicas (compressores, centrais de refrigeração).

- Edifício dos acabamentos

Neste edifício ocorrem os últimos trabalhos e retificações nas pás eólicas, designadamente, aplicação de massas, polimentos, despolimentos, pintura, pesagem e calibração das pás.

- Edifício das Root Joints

Edifício destinado unicamente à produção das *Root Joints*, componente integrante das pás, que posteriormente são instaladas nas mesmas. Existe uma área de armazenamento a baixa temperatura onde são armazenadas as fibras *prepregs* (pré-impregnadas).

- Secção dos moldes inativos

Zona onde se armazenam os moldes que não estão em utilização no momento.

- Armazém de resíduos

Área onde é feita a gestão e preparação dos resíduos antes de serem encaminhados para operadores de gestão de resíduos licenciados, nomeadamente:

- Resíduos industriais valorizáveis (RIV) – papel e cartão, plástico, metais ferrosos e não ferrosos e madeira;
- Resíduos industriais banais (RIB) – todos os resíduos que não podem ser valorizados e que não são perigosos, são sujeitos a um processo de trituração (transformação física);
- Resíduos sólidos urbanos;
- Resíduos industriais perigosos (RIP);

- Resíduos inertes – essencialmente a fibra de vidro;
- Resíduos tipo hospitalar*.

*Os resíduos do tipo hospitalar são geridos no próprio gabinete médico.

- Stock de pás

Este local não está representado no *layout*, mas é o local onde são, temporariamente, armazenadas as pás, já produzidas, à espera que o cliente dê ordem de saída das mesmas. É de reforçar que, as pás que se encontram neste local, estão já vendidas.

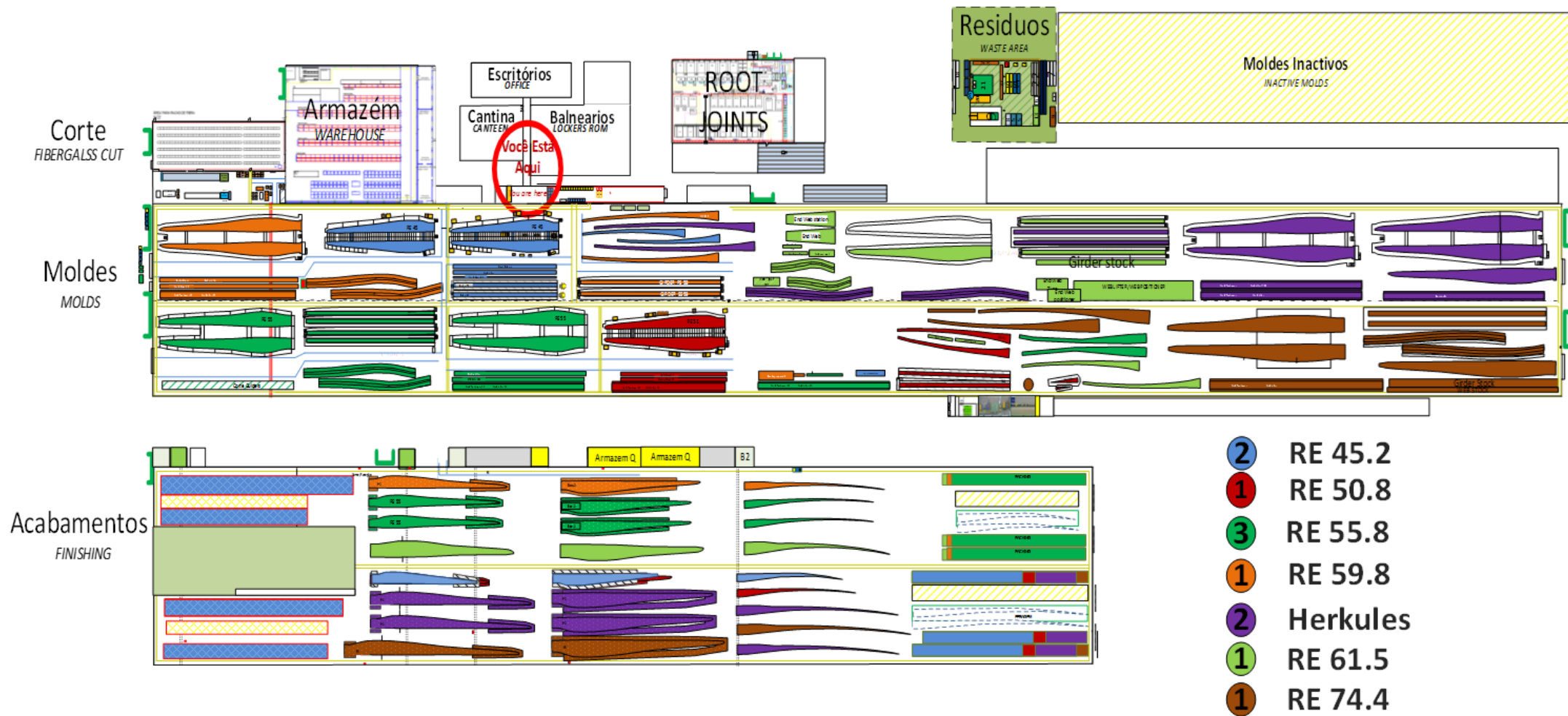


Figura 17- Layout atual (2018) da nave industrial da Ria Blades SA.

4.3. Caraterização do produto

Inicialmente, a empresa produzia apenas pás de 45,2 metros (RE45.2) (Pinheiro, 2016). Ao longo do tempo, foram desenvolvidos moldes para outras pás e aperfeiçoadas as suas tecnologias de produção. Atualmente, a empresa possui os moldes e o *know-how* para a produção de um vasto conjunto de pás (Tabela 5).

Tabela 5- Tipos de pás produzidos pela Ria Blades SA e algumas das suas caraterísticas.

Pá	Tamanho [m]	Início da produção	Peso [ton]
RE45.2	45,2	2009	8
RE50.8	50,8	2012	12
RE55.8	55,8	2013	12,9
RE59.8	59,8	2013	12,9
RE40.0	40,0	2015	13,8
RE68.5	68,5	2016	17
RE61.5	61,5	2017	20
RE74.4	74,4	2017	Em pesagem

As pás produzidas são de turbina de eixo horizontal, sendo destinadas a parques eólicos *onshore* (localizados em terra), com exceção das RE61.5, das RE68.5 e das RE74.4 que são destinadas a *offshore*.

Cerca de 95% de todo o volume de produção é exportado. As pás são vendidas em conjuntos de três, denominados *sets*.

Genericamente, a constituição de uma pá inclui duas *Main Shells*, o lado SS (lado de sucção) e o lado PS (lado de pressão), que constituem o corpo da pá. No interior das *Main Shells* encontra-se um conjunto de *pre-fabs* que têm como finalidade dar resistência e flexibilidade à peça final.

Na Figura 18, está representada a composição de uma pá RE45.2. Como é possível observar, esta é constituída por duas *Webs*, duas *Girders*, uma *Root Joints* e uma *End Web*, indexados às *Main Shells* (Pinheiro, 2016; Ribeiro, 2012).

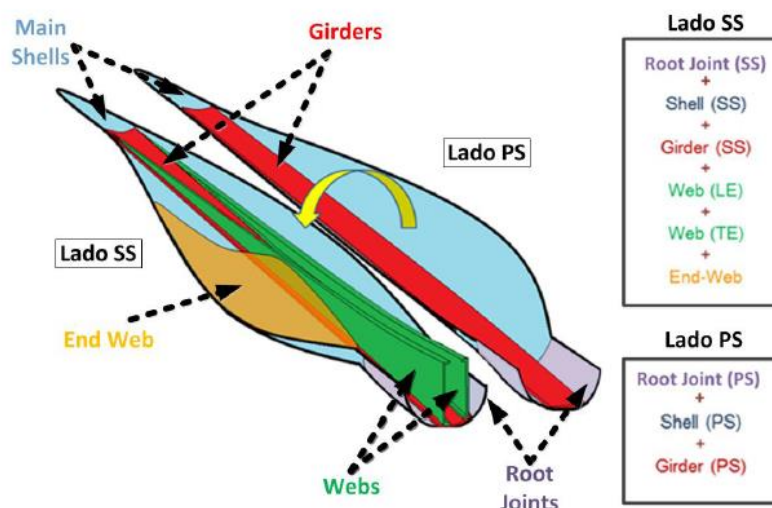


Figura 18- Componentes de uma pá eólica RE45.2 da Ria Blades SA (Ribeiro, 2012; Pinheiro, 2016).

As *Webs* funcionam como estrutura da pá, conferindo-lhe maior robustez e são sustentadas pelas *Girders*, que têm como função a fixação das *Webs*. A *Root Joint* permite fazer a ligação entre a pá e o aerogerador aquando da instalação. A *End Web* permite melhorar as condições aerodinâmicas da pá.

Existem, ainda, outros *pre-fabs* que não estão representados na figura, como é o caso das *TEGs* e do *TEBC*. As *TEGs* servem de reforço estrutural lateral, permitindo aumentar a robustez da pá, e o *TEBC* permite uma união mais forte entre as *Main Shells*. Ambos os componentes enunciados são instalados no interior da pá.

4.4. Materiais utilizados na produção

Como já foi referido, existem vários tipos de pás eólicas e para a produção de cada uma delas variam as quantidades e, em certos casos, o tipo de material utilizado. Por norma, são fabricadas em materiais compósitos, através da combinação de fibras de vidro e resinas que permitem uma elevada resistência mecânica, envolvidas numa matriz com a forma da peça pretendida (Pinheiro, 2016).

A resistência mecânica da pá eólica varia com a combinação do tipo de fibras e matriz utilizada. Estes materiais possuem um grande potencial de aplicações e a sua utilização permite melhorar as propriedades estruturais das pás eólicas com uma redução significativa do peso e custo da pá (Pinheiro, 2016).

Na composição das pás fabricadas na Ria Blades SA estão, essencialmente, presentes materiais de reforço e matrizes:

- **Fibra de vidro** – material utilizado como reforço pela elevada resistência e durabilidade, não condutor de eletricidade (vantagens devido aos raios que se abatem sobre os aerogeradores em altura);

- **Resina** – material utilizado como matriz para suportar o reforço, atua como agente de fixação, agregação e densificação.
O tipo de resina utilizado é resina epóxi por apresentar boas propriedades mecânicas e térmicas: permite um longo tempo de trabalho (antes de secar), é resistente à temperatura e apresenta reduzida retração. É, no entanto, bastante corrosiva e requer uma boa mistura. Normalmente, é aplicada após mistura com agente endurecedor;
- **Madeira (balsa)** – proveniente de florestas tropicais sustentáveis, é o componente mais “amigo do ambiente”, atuando também como reforço;
- **Espuma** – material leve e resistente utilizado como reforço da estrutura.

São também utilizados outros materiais, na empresa, que intervêm, direta ou indiretamente na produção, mas não fazem parte estruturante da peça final:

- RIM (*removable infusion materials*) – materiais que são utilizados para conduzir a resina sobre todas as fibras, balsa e espuma e que são removidos no final.
- EPIs (equipamentos de proteção individual) – equipamentos que visam a proteção e segurança dos trabalhadores.
- Tintas e massas – numa fase posterior à montagem das pás são utilizadas massas, para corrigir imperfeições na superfície, e tintas, para pintar.

4.5. Descrição do processo produtivo

A construção de uma pá eólica divide-se em vários subprocessos. No presente ponto, é descrito o processo produtivo do projeto RE45.2, por ser o projeto mais antigo da empresa e estar perfeitamente sistematizado.

Este processo é incluído no presente documento como representativo dos outros processos, no entanto, o conhecimento deste não dispensa o conhecimento dos demais processos, uma vez que diferem, não só ao nível da quantidade de matérias-primas utilizados, mas também ao nível dos componentes (*pre-fabs*) e materiais utilizados na sua constituição.

Previamente ao processo de produção propriamente dito, é requerida uma fase igualmente importante de logística e organização dos materiais.

Desta forma, numa primeira fase, ocorre o corte da fibra de vidro consoante o tipo de *pre-fab* (peças construídas separadamente em moldes próprios que fazem parte da composição das pás) e o projeto da pá a produzir.

Simultaneamente, são preparados *kits* de suporte à produção (em função do tipo de projeto e do tipo de *pre-fab*), que, mais tarde, são encaminhados para a zona da produção, contendo já todos os materiais necessários para esse fim.

O processo inicia-se com a produção de todos os *pre-fabs* que farão parte da estrutura da pá. Neste caso, para o projeto RE45.2, são produzidas as *Webs*, as *Girders*, a *Root Joint* e a *End Web*.

Seguidamente tem lugar a produção das *Main Shells*, numa fase sequencial do processo, que culminará com o produto acabado, uma pá RE45.2. Na seguinte imagem é esquematizada o processo em questão (Figura 19).

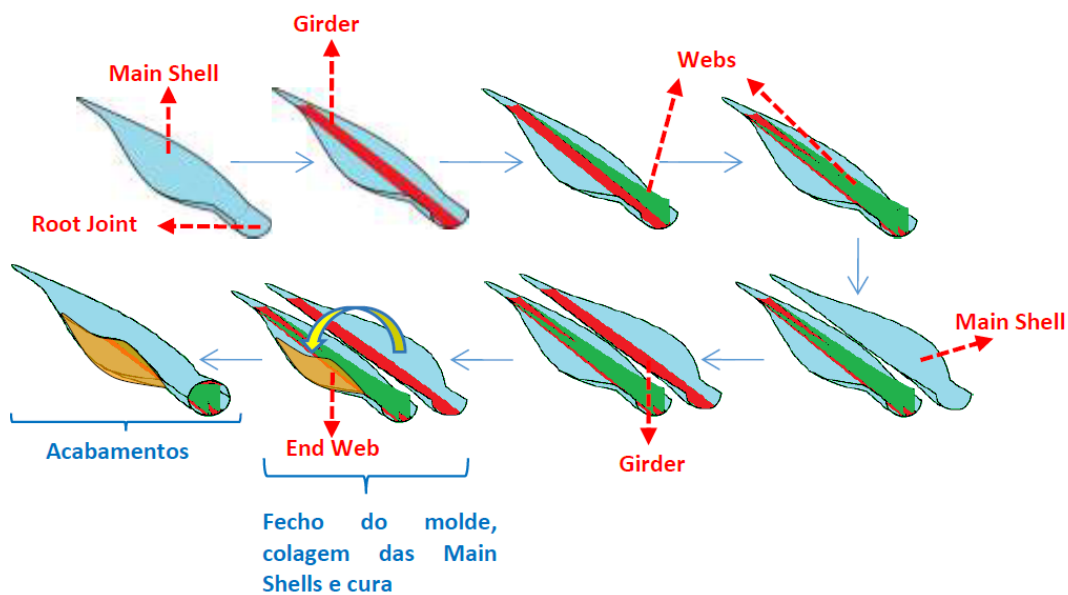


Figura 19- Sequência da montagem da pá de aerogerador da RE 45.2 (Faria, 2016).

Como mostra a Figura 19, nas *Main Shells* são instalados, sequencialmente, todos os *pre-fabs* anteriormente produzidos. Terminada a instalação de todos os *pre-fabs*, a pá é fechada, colada e, após a cura, encaminhada para o edifício dos acabamentos, onde é sujeita a reforços, polimentos, pintura, calibração, pesagem e inspeção.

No final, o processo está concluído e a pá está pronta a dar saída da empresa, mediante ordem do cliente.

De seguida, é dada uma explicação mais detalhada do processo produtivo de cada um dos componentes da pá RE45.2. Em foco, estão os seguintes subprocessos de produção: *Root Joint*, *Main Shells*, *Girders*, *Webs* e *End Web*.

4.5.1. Root Joint

O processo de produção das *Root Joints* tem lugar no edifício destinado à produção de *Root Joints* (Figura 17) e inicia-se com a preparação e limpeza do molde para remover restos de resina, fibras ou outros resíduos que possam contaminar a peça final.

As fibras armazenadas a baixa temperatura são transferidas para a área de descongelamento, onde são submetidas à temperatura ambiente, antes de serem utilizadas no processo.

Seguidamente, dá-se o corte das fibras *prepreg* (fibras pré-impregnadas com resina) e outros consumíveis de acordo com as dimensões especificadas para a produção, a colocação dos mesmos em carros próprios e o seu transporte para a zona de produção, onde tem início a produção propriamente dita.

Chegado a este ponto, inicia-se o processo de *layup*, isto é, sobreposição de várias camadas de fibra com recurso a vácuo, de modo a ocorrer a compressão das camadas.

Findo o *layup*, segue-se o processo de cura (em estufa) para solidificar a matriz e conferir maior robustez à peça.

Após o arrefecimento, procede-se à sua desmoldagem. Nesta fase, a peça é preparada para o processo de corte robotizado, que consiste no desbaste das extremidades para se obter a forma apropriada. No final, a peça é armazenada, estando pronta para ser utilizada mais à frente no processo (Figura 21) (Faria, 2016; Pinheiro, 2016; Ribeiro, 2012).

Na Figura 20 é possível observar uma esquematização dos processos gerais que dão origem a uma *Root Joint*.

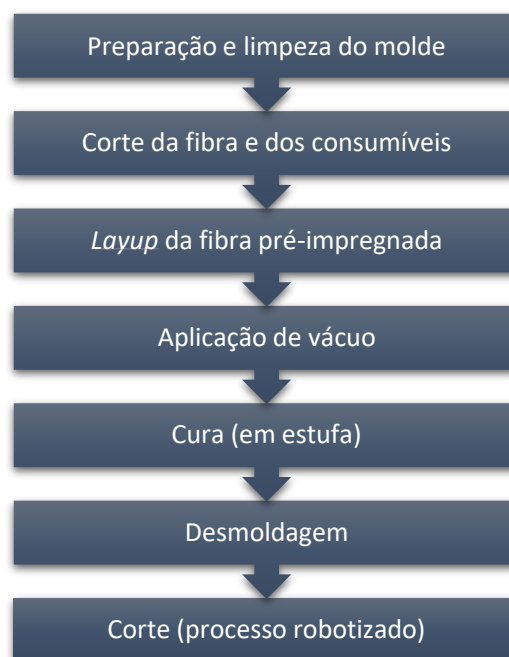


Figura 20- Processo simplificado de produção de uma *Root Joint*.



Figura 21- Root Joints em stock, prontas para serem instaladas numa pá.

4.5.2. Girders

O processo inicia-se no edifício dos moldes (Figura 17), com a limpeza dos moldes para retirar qualquer resíduo de fibra de vidro ou resina que possa interferir com a nova peça.

Seguidamente é aplicado um agente desmoldante em toda a sua superfície, para facilitar o processo de desmoldagem no final.

Inicia-se a aplicação de RIM inferior, seguido do *layup* de fibra de vidro e de balsa e novamente a aplicação de RIM, agora na parte superior.

O passo seguinte é a infusão de uma matriz líquida de resina *epóxi* misturada com um endurecedor, matriz essa que é dispersa uniformemente por toda a peça através de vácuo.

O processo de cura, precede o de desmoldagem e, por fim, o de corte da peça para que esta adquira a forma desejada (Figura 23) (Faria, 2016; Pinheiro, 2016; Ribeiro, 2012).

Na Figura 22 é possível observar uma esquematização dos processos gerais que dão origem a uma *Girder*.



Figura 22- Processo simplificado de produção de uma Girder.



Figura 23- Girder finalizada, pronta para ser instalada numa pá.

4.5.3. Webs

O processo de fabrico de uma *Web* tem lugar no edifício dos moldes (Figura 17). As Webs são produzidas duas a duas, sendo designadas por VK e HK. A principal diferença entre elas é que a Web HK possui um cabo que será ligado ao pára-raios, na estrutura final da pá.

À semelhança dos outros *pre-fabs*, inicia-se com a limpeza do molde e aplicação de desmoldante em toda a sua superfície.

No *layup*, os rolos de fibra previamente cortados são dispostos, de acordo com as especificações standardizadas, sobre o molde.

Posteriormente, é aplicado o RIM e preparada a peça para a infusão de resina e endurecedor.

Após a infusão são colocadas mantas térmicas a cobrir a peça e inicia-se o processo de cura.

Segue-se a ripagem, com a remoção de todo o RIM e, posteriormente, a desmoldagem da peça.

Para finalizar, dá-se o processo de corte da peça, isto é, aperfeiçoamento das extremidades de modo a encaixar corretamente na *Main Shell* (Figura 25) (Faria, 2016; Pinheiro, 2016; Ribeiro, 2012).

Na Figura 24 é possível observar uma esquematização dos processos gerais que dão origem a uma *Web*.

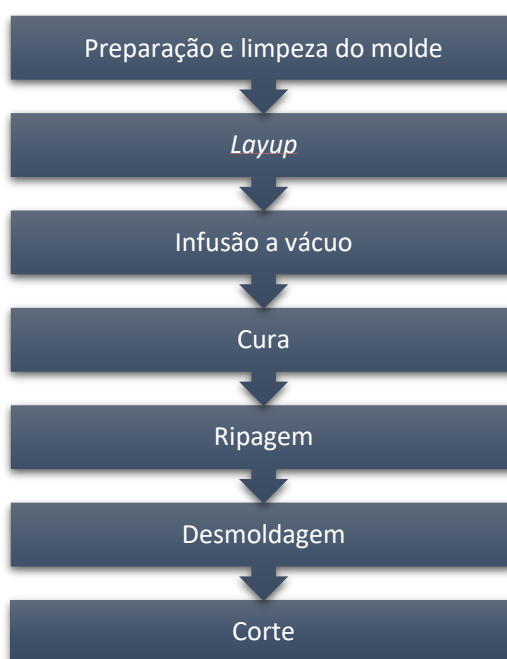


Figura 24- Processo simplificado de produção de uma *Web*.



Figura 25- Web finalizada, pronta para ser instalada numa pá.

4.5.4. End Web

O processo de produção da *End Web* é, em tudo, semelhante ao processo de produção das Webs, diferindo, essencialmente, na quantidade de material utilizada. É realizado por um operador, apenas e instalado na *Main Shell*, em simultâneo, com as Webs. A Figura 26 mostra um *End Web* já produzida.



Figura 26- End Web finalizada, pronta para ser instalada numa pá.

4.5.5. Main Shells

As *Main Shells* são os componentes da pá que contêm os *pre-fabs*, pelo que a sua produção requer a produção prévia dos mesmos.

O processo inicia-se no edifício dos moldes (Figura 17) com a limpeza dos moldes, PS e SS, para retirar qualquer resíduo de fibra de vidro ou resina que possa interferir com a nova peça (Figura 28).

Após a limpeza dos moldes é aplicado um líquido desmoldante em toda a superfície, líquido este que vai facilitar o processo de desmoldagem, mais à frente.

Segue-se a aplicação de *gelcoat*, uma mistura líquida que protege a superfície exterior da pá da abrasão, radiação UV e humidade. Nesta fase, em que os moldes estão limpos e preparados para a produção, é feita a instalação da *Root Joint*, o lado PS da Root Joint encaixa no lado PS do molde da *Shell* e o mesmo acontece com o lado SS.

Segue-se o *layup* com aplicação de várias camadas de fibra de vidro, espuma e balsa sobre os moldes. Durante o *layup* são instaladas as *Girders*, cada uma na respetiva *Shell*, seguindo-se a aplicação de mais fibras.

Terminado o *layup*, inicia-se a preparação para a infusão de resina, a vácuo. Nesta fase, aplica-se o RIM.

Posteriormente inicia-se a cura de cada uma das *Shells*, com manta térmica. No final, obtém-se *Shells* robustas e resistentes devido à impregnação dos materiais.

Em ambas as *Shells*, é realizada a ripagem, isto é, a remoção de todos os consumíveis (intermediários) do processo, até sobrar apenas uma estrutura compacta de fibras, balsa e espuma.

Na *Shell* SS procede-se à colocação das duas *Webs*, com auxílio da *web lifter*.

Por fim, as duas *Shells* são unidas formando a pá – o lado PS é fechado sobre o lado SS.

Antes realiza-se um teste para determinar a quantidade de cola a utilizar para a colagem das *Shells*, sendo que este é um fator importante para garantir a robustez da pá (Faria, 2016; Pinheiro, 2016; Ribeiro, 2012).

Na Figura 27 é possível observar uma esquematização dos processos gerais que dão origem a uma *Main Shell*.

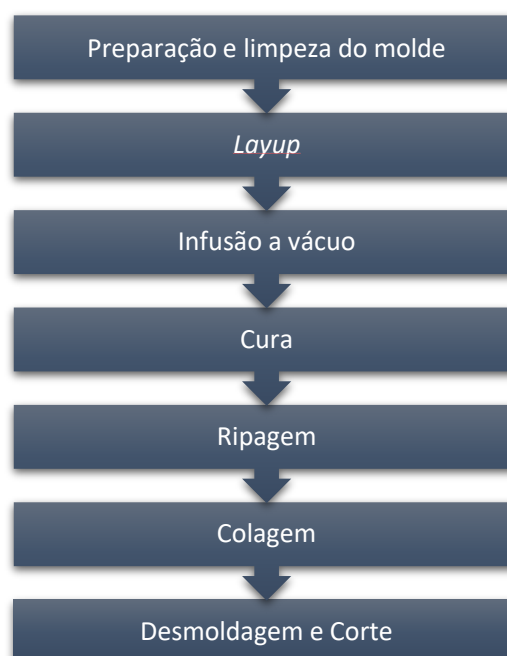


Figura 27- Processo simplificado de produção das Main Shells.



Figura 28- Molde utilizado para a produção de uma Main Shell.

Depois de desmoldada, inspecionada e validada pelos inspetores de qualidade, a pá colada é transportada para o edifício dos acabamentos. Aí existem cinco áreas onde a pá é trabalhada, antes de ser considerada produto acabado:

- P0 – Corte de robot;
- P1 – Despolimento;
- P2 – Aplicação de massas e correção de imperfeições;
- P3 – Pintura;
- P4 – Pesagem e calibração.

4.5.6. Corte de fibra

O processo de corte tem lugar na secção de corte, que fica localizada no armazém dos moldes (Figura 17).

Neste processo intervêm, essencialmente os seguintes materiais: fibra de vidro, filme plástico, papel kraft e tubos de PVC.

Numa primeira fase dá-se a receção da fibra de vidro, tal e qual como vem do fornecedor, isto é, enrolada num rolo de cartão e dentro de um invólucro de plástico.

Numa segunda fase, esses rolos de fibra são cortados na máquina de corte juntamente com dois materiais auxiliares: papel kraft e filme plástico. Tanto o filme plástico como o papel kraft perfurado permitem a criação de vácuo, necessária ao mecanismo de corte.

No final, cada peça de fibra é enrolada num tubo de PVC e envolvida em papel kraft, sendo armazenada e posteriormente encaminhada para a produção.

Nota: Os tubos de PVC, por possuírem alguma robustez e durabilidade, são reutilizados ao máximo, não sendo utilizados uma vez e descartados posteriormente.

4.6. Metodologia de cálculo da PE

Com o objetivo de determinar a PE da Ria Blades SA, foi escolhida a metodologia considerada mais adaptável ao presente caso de estudo. Com base nas metodologias apresentadas em 2.2, foi dada preferência a uma análise de processo, com utilização do método por componentes, que, no presente caso, é o mesmo que falar numa ACV.

Conforme foi referido anteriormente e de acordo com a NP EN ISO 14040:2006, a estrutura de uma ACV baseia-se em 4 pontos principais:

- Definição do objetivo e âmbito;
- Análise de inventário (AICV);
- Análise de impacto;
- Interpretação dos resultados.

É, justamente, segundo a mesma norma, que está estruturado e dividido o presente capítulo, com o acréscimo de mais um tópico acerca das limitações da análise realizada.

4.6.1. Âmbito e fronteiras

Como referido em 1.1, o principal objetivo do trabalho é a determinação da PE da empresa. Para o efeito, a análise contempla, não só a produção, mas toda a atividade da empresa, incluindo alguns serviços de suporte como, os serviços de cantina e cafetaria e os serviços de preparação e gestão de resíduos. Os demais serviços (infraestruturas, serviços de manutenção, serviços administrativos e serviços de limpeza), não foram incluídos, por se entender não terem relevância significativa para o estudo em causa.

Relativamente às fronteiras de análise, foram consideradas a fronteira temporal e a fronteira física.

A fronteira temporal definida foi o período de tempo de um ano, especificamente o ano de 2017. Isto deve-se ao facto de, aquando desta análise, o ano de 2017 ser o ano mais recente e terminado, possibilitando o apuramento das quantidades exatas de *pre-fabs* e de pás que foram produzidas, enquanto se a análise fosse referente a 2018 haveria alguma incerteza quanto a este fator, sendo necessário fazer projeções que limitariam a exatidão da análise.

Quanto à fronteira física, a análise foi realizada *from cradle to gate*, isto é, desde que a matéria-prima é extraída até o produto estar pronto para exportar, após o processo de produção, à saída da empresa.

A unidade funcional escolhida foi um ano de atividade industrial da Ria Blades SA.

4.6.2. Análise de inventário

Conforme referido anteriormente, esta análise estendeu-se não só à produção, mas, também, a alguns dos seus serviços de suporte. Desta feita, para além da produção, foram analisados os serviços de cantina e cafetaria e os serviços de preparação e gestão dos resíduos.

Produção

Nesta etapa, foi feito um levantamento do tipo e quantidade dos materiais utilizados no processo de produção de cada um dos projetos produzidos no ano em análise, designadamente, os projetos RE40.0, RE45.2, RE50.8, RE55.8, RE59.8 e RE68.5.

Para a análise de inventário, foi seguido o procedimento presente na Figura 29. Este procedimento foi aplicado à análise de cada um dos projetos, com exceção da 'Análise em STAN 2.6', que apenas foi realizada para o projeto RE45.2.

STAN 2.6 é um software destinado à realização de análises de fluxos de materiais. Após a construção de um modelo gráfico, com processos, fluxos e fronteiras de análise, é possível introduzir *inputs* e coeficientes de transferência que permitem calcular todas as quantidades relativas ao sistema (*stocks* e *outputs*). Desta forma, é possível identificar quais os componentes maioritários e eventuais perdas ou inconsistências do sistema.

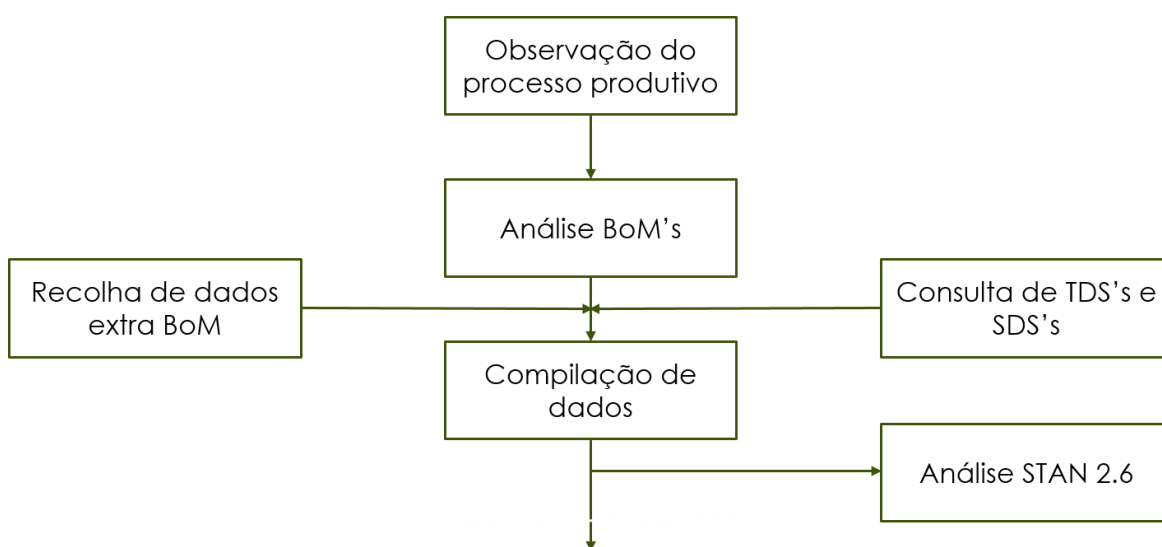


Figura 29- Procedimento para a realização da etapa Análise de Inventário.

Assim sendo, iniciou-se esta etapa com a observação dos processos de produção de cada um dos projetos, incluindo a produção dos *pre-fabs*, a colagem e fecho da pá e a fase de acabamentos. Durante a fase de observação foi feita uma lista dos materiais utilizados na produção de cada um dos *pre-fabs*, de cada um dos projetos, tendo em conta as BoM (*Bills of materials*).

Dada a complexidade do sistema de produção e vasta gama de materiais utilizados, por uma questão metodológica, no cálculo da PE apenas foram tidos em conta os materiais maioritários, excluindo-se aqueles que apresentam uma utilização residual em relação aos anteriores.

Posteriormente, através da consulta das BoM foram apuradas as quantidades de cada um dos materiais necessários para a produção de cada uma das pás.

Mais, foi necessário realizar uma recolha de dados que não constavam nas BoMs, através do contacto direto com colaboradores de diferentes setores da empresa e do acesso a outros documentos, como as TDSs e SDSs (*Technical Data Sheets* e *Safety Data Sheets*).

A consulta destes últimos, permitiu a recolha de fatores de conversão dos materiais, isto é, valores que permitem converter as unidades de todos os materiais em quilogramas. O interesse desta conversão é, por um lado, a possibilidade de verificar a fração (em termos de peso) que cada material representa no total dos materiais e, por outro lado, facilitar a etapa seguinte da metodologia.

A compilação de todos os dados acima enunciados foi feita em tabelas como a Tabela 6, para cada um dos projetos, por *pre-fab* e por pá.

Tabela 6- Tabela-exemplo utilizada no inventário dos materiais utilizados para a produção das Shells do projeto RE45.2.

RE45.2							
Shells							
	Quantidade	Fonte	Fator de conversão	Unidades	Conversão para Kg	Total	Peso %
Fibra de vidro [m ²]	1211,70	Dados_Corte	0,83	Kg/m ²	1006,92	1870,38	41,8%
Espuma/balsa [Kg]	127,50	DadosMestre_Logística	1,00	-	127,50	127,50	2,9%
Resinas [Kg]	1067,88	BoM_w11_RE45.2	1,00	-	1067,88	1067,88	23,9%
.
.
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
.
.
Fita adesiva [m ²]	134,51	BoM_w11_RE45.2	0,06	Kg/m ²	8,02	8,02	0,2%
Saco vácuo [m ²]	1069,20	BoM_w11_RE45.2	0,08	Kg/m ²	84,47	84,47	1,9%
SOMA							100,0%

Ao nível dos consumos de energia, especificamente os consumos eletricidade, gás propano e gasóleo, a empresa possui, apenas, os dados de consumo agregados. Idealmente, seria interessante conhecer os consumos associados à produção de cada pá. Sendo que, tal, ainda não é possível conhecer com exatidão, dividiu-se o valor de consumo agregado de cada um, pelo número total de pá produzidas, no ano de 2017. Desta forma, está-se a considerar que a produção de pás

dos diferentes projetos envolve os mesmos consumos de energia, o que pode não corresponder, necessariamente, à realidade.

Quanto à água, não é utilizada diretamente no processo produtivo, mas sim para consumo humano (casas de banho e balneários) e para limpeza do pavimento, por intermédio de carros elétricos. Por uma questão de simplificação do cálculo, também os consumos totais de água foram divididos pelo número total de pás produzidas em 2017. Desta forma, obteve-se um resultado, em m³/pá.

No sentido de sistematizar a informação recolhida, identificar todos os processos e fluxos que intervêm na produção e perceber qual o destino dos materiais utilizados, foi feita uma análise em STAN 2.6 para o projeto RE45.2, por ser um dos projetos mais sistematizados, de entre os que se encontravam em produção na empresa, à data de 2017 (Anexo I).

Serviço de cantina e cafetaria

Quanto aos serviços de cantina e cafetaria, apenas é conhecida a quantidade de RSU produzida. Considerando que, de um modo geral, todos os RSU provêm da cantina, através de um balanço mássico simples, é possível obter uma aproximação da quantidade total de alimentos envolvidos neste processo.

Assim sendo, considerando um ponto de desperdício de alimentos, é possível obter o valor total de alimentos que dão entrada na empresa, durante um ano (Anexo II).

Numa situação ideal deveria considerar-se duas situações de desperdício - quando os alimentos estão a ser preparados e transformados em refeições e os restos de comida que não são ingeridos. No entanto, não existem dados suficientes para tal análise.

Para além dos pressupostos acima expostos, foi necessário fazer as seguintes assunções:

- As refeições principais (almoços e jantares) têm uma massa aproximada de 500g e são compostas por três alimentos (representativos de uma refeição) – carne (25%), alface (50%) e arroz (25%);
- Os lanches têm uma massa aproximada 150g e são compostos por dois alimentos (representativos de uma refeição) – maçã (50%) e iogurte (50%).

Serviço de preparação e gestão de resíduos

Relativamente à análise dos serviços de preparação e gestão de resíduos, duas opções apresentaram-se como viáveis, inicialmente: ter como base os resíduos provenientes, apenas dos materiais maioritários (aqueles que foram considerados na análise de inventário à produção) ou a quantidade real de resíduos produzida na empresa durante o ano de 2017, dada pelo documento MIRR 2017. A opção escolhida para a presente análise foi a segunda.

Nesta sequência, agruparam-se os resíduos segundo o destino destes, após saírem da empresa. Para o efeito, foram considerados três destinos possíveis: reciclagem, incineração e deposição em aterro.

4.6.3. Análise de impacto

Seguiu-se uma AICV (análise de impacto de ciclo de vida). Para tal, foram recolhidos fluxos de materiais e energia na base de dados EcolInvent [URL 10], referentes a produtos ou atividades, com a quantificação do indicador de impacto incluída, neste caso a PE.

A base de dados EcolInvent fornece informações bem documentadas acerca de processos relativos a milhares de produtos, permitindo uma análise, o mais aproximada possível da realidade, acerca do seu impacto ambiental. Desde o início do século que se estabeleceu como líder na criação de bases de dados transparentes de inventário de ciclo de vida [URL 10].

A compilação e sistematização destes dados foram feitas num modelo desenvolvido em Excel, que permite obter o resultado de PE decorrente do processo produtivo da Ria Blades SA.

Este é um modelo versátil que utiliza os fatores de impacto associados a cada produto ou atividade do EcolInvent e os dados de inventário da empresa, apurados anteriormente, e converte-os em PE. Apresenta-se no Anexo III, um excerto da base de dados em questão (Figura 53).

Assim sendo, foram considerados nove principais processos que têm lugar na empresa, para a quantificação do impacto, processos estes que, agregados, permitem obter a PE da atividade industrial da Ria Blades SA, durante um ano.

Os processos que entraram na análise foram:

- Processo de produção RE40.0;
- Processo de produção RE45.2;
- Processo de produção RE50.8;
- Processo de produção RE55.8;
- Processo de produção RE59.8;
- Processo de produção RE68.5;
- Serviços de transporte;
- Serviços de cantina e cafetaria;
- Serviços de preparação e gestão de resíduos.

Produção

Os processos de produção foram tratados de uma forma sistemática, excetuando o processo de produção da pá RE45.2.

Os materiais e respetivas quantidades inventariados foram introduzidos no Excel de cálculo nas devidas unidades, concordantes com os respetivos fluxos EcolInvent e multiplicados por estes últimos, dando origem à PE de cada um dos projetos.

Também para os consumos de energia e água (para consumo humano e limpeza de pavimento) seguiu-se a mesma metodologia. Multiplicou-se as quantidades consumidas de eletricidade, gasóleo, gás propano e água pelo respetivo fluxo EcolInvent.

Quanto à análise do projeto RE45.2, o procedimento foi, em termos gerais, o mesmo, mas realizado mais desagregadamente, isto é, a análise, em vez de considerar a pá como um todo, teve por base a produção de cada um dos *pre-fabs*. Desta forma, foi possível apurar o impacto ambiental de cada um dos *pre-fabs* em termos de PE e perceber quais os que colocam mais pressão no ambiente.

Serviços de transporte

Sendo a presente análise realizada *from cradle to gate*, não se considerou o transporte necessário para transportar a pá até ao parque eólico, onde será instalada na estrutura da torre para formar o aerogerador, nem o desbaste da área para a referida instalação.

Assim, o transporte considerado nesta análise foi, unicamente, o realizado para movimentar as matérias primas desde o fornecedor (não necessariamente desde o local de extração) até às instalações da Ria Blades SA.

É certo que este transporte pode ser indexado à produção, uma vez que é relativo aos materiais nela usados, no entanto, optou-se por tratá-lo separadamente, no sentido de evidenciar a sua quota parte de impacto ambiental.

Assim sendo, foi feito um rastreamento da origem dos materiais utilizados na produção e calculadas as distâncias de transporte de cada um deles, desde o fornecedor até à Ria Blades SA. A representação das origens foi feita por intermédio do Google Maps e encontra-se na Figura 30. Os pontos a vermelho representam as localizações dos fornecedores e o ponto a verde representa a localização da fábrica da Ria Blades SA.

Em geral, as matérias primas são provenientes da Europa, com exceção de dois materiais que vêm dos EUA e da Índia.

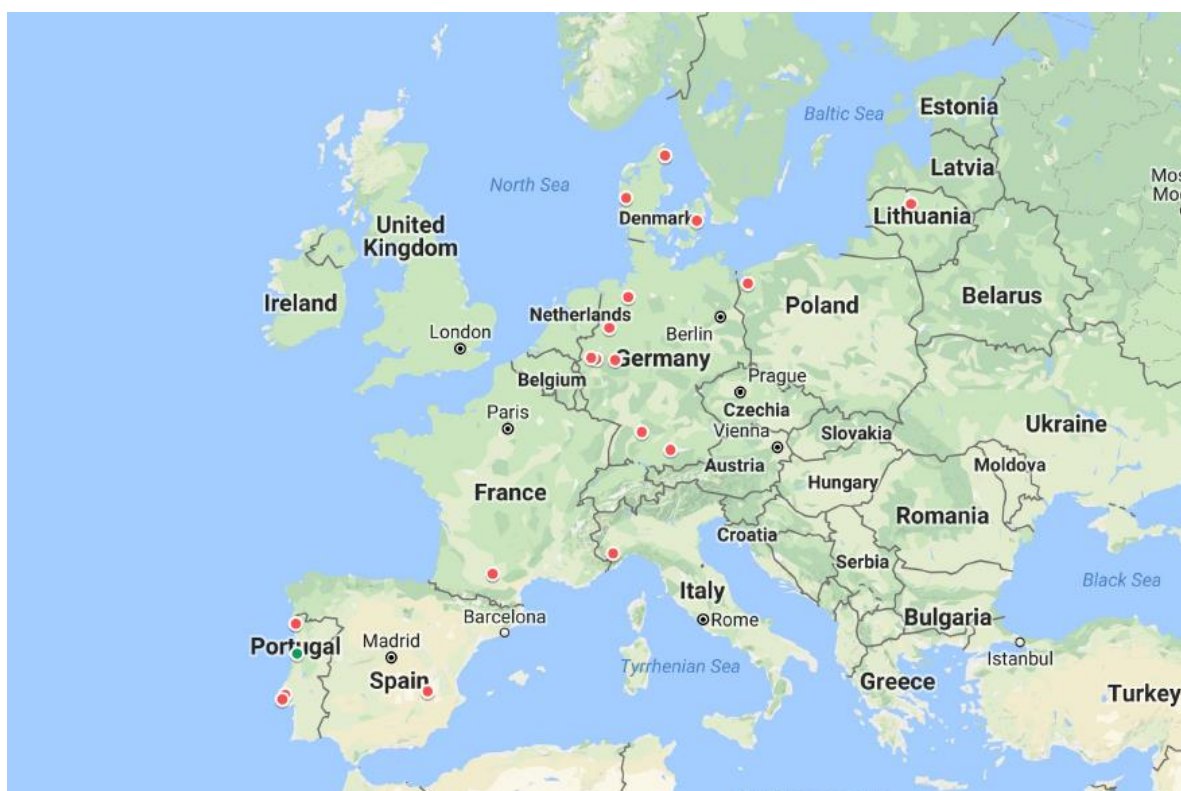


Figura 30- Mapa dos fornecedores das matérias primas utilizadas na produção da Ria Blades SA.

Para esta análise foram selecionados os materiais cuja fração, no peso total, seja igual ou superior a 1%. Dada a sua relevância no processo, mesmo não atingindo o peso mínimo para fazer parte deste grupo, as massas, as tintas, o *gelcoat*, a membrana e o *peel ply* foram incluídos na análise.

A distância entre a empresa fornecedora e a Ria Blades SA foi medida (recorrendo a uma ferramenta do Google Maps) e multiplicada pela respetiva quantidade, para cada um dos materiais, obtendo-se um valor em tkm (tonelada*quilómetro – unidade de medida correspondente à deslocação, por estrada, de uma tonelada de mercadorias, na distância de um quilómetro).

Mais uma vez, este valor foi multiplicado pelo fator de impacto ambiental proveniente do EcolInvent, obtendo-se o valor de PE correspondente ao transporte da matéria prima.

Serviços de cantina e cafetaria

A análise de impacto dos serviços de cantina e cafetaria foi realizada à semelhança do que foi feito para a produção.

A quantidade de alimentos, por ano, por pessoa, foi multiplicada pelo fator de impacto ambiental EcolInvent e pelo número de colaboradores, permitindo obter o valor de PE associado.

Serviços de preparação e gestão dos resíduos

Quanto à quantificação do impacto ambiental dos resíduos produzidos na empresa, foi tida em conta a divisão já efetuada na etapa de análise de inventário. Nessa lógica, foram aplicados três diferentes fatores de impacto:

- Para os resíduos que têm como destino a deposição em aterro, o cálculo da pegada foi obtido pela multiplicação da massa total dos resíduos e o fator de impacto correspondente do EcolInvent;
- Para os resíduos que têm como destino a incineração (com valorização energética), o cálculo da pegada foi obtido pela multiplicação da massa total dos resíduos e o fator de impacto correspondente do EcolInvent;
- Para os resíduos que têm como destino operações de valorização material (reciclagem), convencionou-se que é razoável a atribuição de um fator de impacto 0. A explicação assenta, essencialmente, no pressuposto de que, uma entidade externa (recicladora), ao estar a comprar o resíduo valorizável, está também a adquirir a responsabilidade da gestão do mesmo e, portanto, o seu impacto ambiental. Desta forma, o impacto da gestão deste tipo de resíduo é alocado à entidade externa, sendo contabilizado a zero na presente análise.

4.6.4. Interpretação dos resultados

O resultado da PE foi obtido com base numa análise de ciclo de vida (ACV) à unidade industrial da Ria Blades SA e procura reproduzir um resultado tão aproximado quanto possível da realidade, dadas as limitações inerentes a este tipo de análise (Ponto 4.6.5).

Neste ponto são feitas várias análises e respetiva interpretação dos resultados obtidos, designadamente:

- uma análise em termos globais da atividade industrial da empresa durante o ano de 2017;
- uma análise por setor, isto é, a contribuição de cada setor para a PE total;
- uma análise comparativa entre PE obtida para a pá RE45.2 e a PE relativa a fluxo de produção de um aerogerador, do EcoInvent;
- uma análise comparativa entre o impacto de produção energética de aerogeradores que utilizam as pás fabricadas na empresa e o impacto de produção energética associado ao *mix* energético português ⁽¹⁾.

(1) O *mix* energético português é o conjunto das fontes de energia primária (fontes renováveis, combustíveis fósseis e fontes nucleares) que o país utiliza para produzir energia elétrica. O *mix* de geração de energia elétrica de cada país é diferente e depende da disponibilidade de matérias-primas e da evolução dos sistemas de produção.

ANÁLISE GLOBAL

Como referido anteriormente, a PE total resulta da soma das PEs dos setores considerados na análise. Assim, a PE obtida, decorrente da atividade industrial da empresa, durante o ano de 2017, foi de 43928 gha (hectares globais).

Contextualizando, a área total de Vagos, concelho onde fica localizada a empresa, é de, aproximadamente, 16492 ha. Para regenerar os recursos e absorver os resíduos e emissões decorrentes da atividade anual da empresa, seria necessária uma área correspondente à soma das áreas de Vagos, Ílhavo (7348 ha) e Aveiro (19800 ha) (Figura 31). Tendo em conta que, nem toda esta área é constituída por terrenos biologicamente produtivos, seria precisa uma área ainda maior, na realidade.

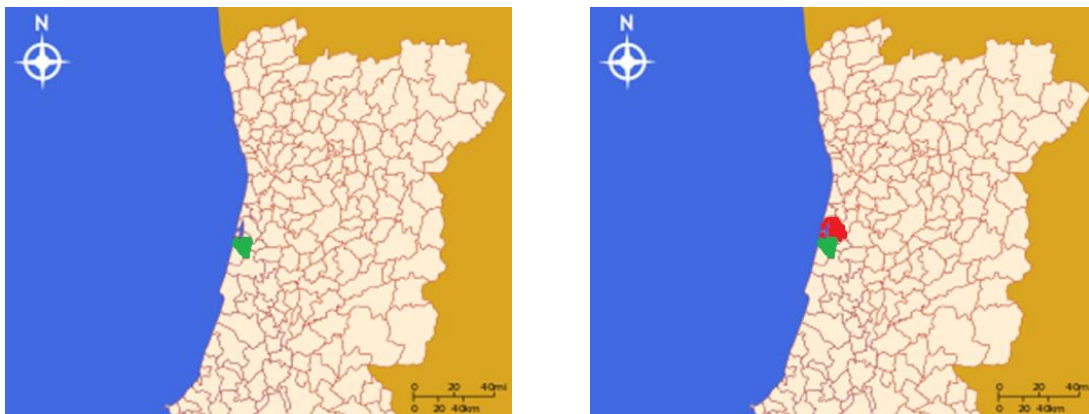


Figura 31- Representação da área de Vagos (a verde) e da área adicional hipotética correspondente à PE da Ria Blades SA (a vermelho).

É possível verificar que, como seria de esperar, tratando-se de uma empresa com um grande volume de produção e que utiliza substâncias nocivas para o ambiente na produção, a sua PE é bastante grande. Neste contexto, aquando da produção, a empresa está a contribuir largamente para a existência de um défice ecológico, sendo que o produto em causa ajudará a amenizar esse défice, numa fase posterior do seu ciclo de vida. No entanto, uma vez que o produto é exportado (cerca de 95% do volume total de produção), o impacto será alocado ao comprador e não à empresa nem ao país.

A Figura 32 representa a contribuição de cada um dos setores considerados para a PE.

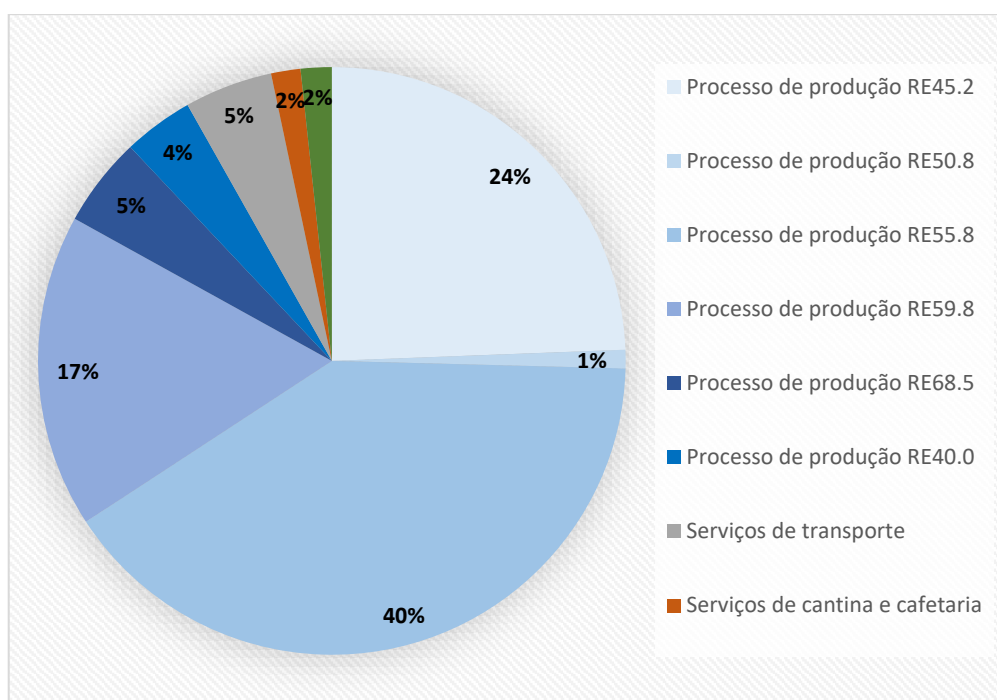


Figura 32- Contribuição para a pegada ecológica total de cada um dos setores considerados.

No sentido de facilitar a compreensão e leitura dos resultados, o gráfico que se segue, apresenta apenas os processos mais gerais, isto é, a produção, os serviços de transporte, os serviços de cantina e cafeteria e os serviços de gestão e preparação de resíduos.

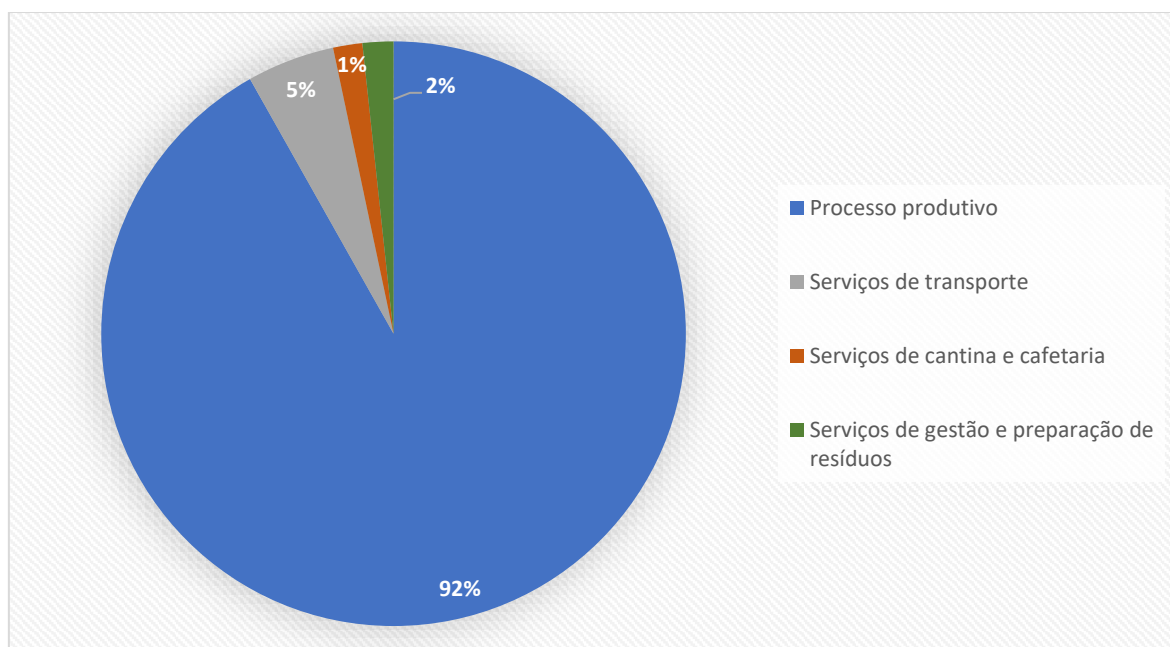


Figura 33- Contribuição dos processos principais da empresa para a pegada ecológica total.

Como é possível verificar pela Figura 33, a produção é destacadamente aquela que apresenta um maior peso na PE final, com 92%, sendo que a segunda maior fatia pertence aos serviços de transporte que, como referido anteriormente, não estão indexados à produção por uma questão de conveniência e percepção dos resultados. Como tal, é segura afirmar que a produção representa cerca de 97% da PE total da empresa.

Os serviços de cantina e cafeteria e os serviços de preparação e gestão de resíduos apresentam um peso substancialmente menor e uma contribuição minoritária para a PE, mas nem por isso se pode desprezar a sua importância, especialmente no que toca aos resíduos.

ANÁLISE POR SETOR

Produção

Como já foi referido, a produção é o setor responsável pelo maior impacto ambiental. Isto deve-se essencialmente à natureza das matérias primas utilizadas, matérias estas que têm associadas PEs bastante elevadas e que, como tal, são nocivas para o ambiente.

Na Figura 34, é feita uma análise do peso dos materiais que intervêm na produção da pá, ao nível de impacto ambiental.

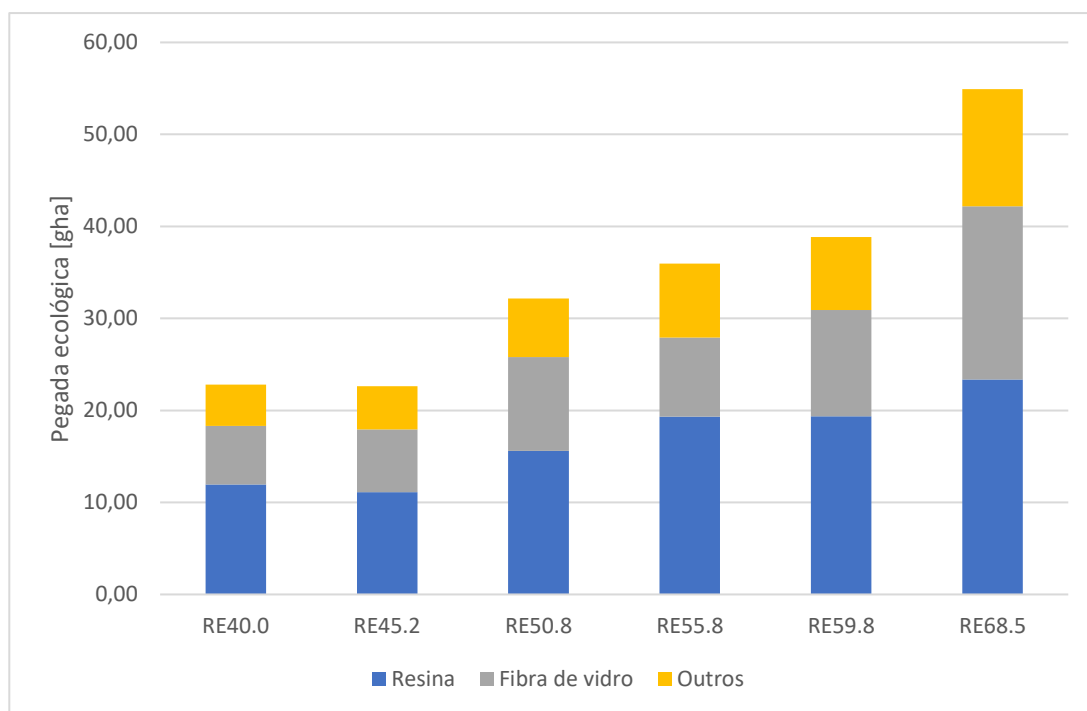


Figura 34- Contribuição da resina, fibra de vidro e restantes materiais para a pegada ecológica, em termos absolutos.

Primeiramente, destaque para um aspeto, de certa forma, lógico, mas que se verifica. Pode observar-se que à medida que aumenta o tamanho da pá, mais materiais são utilizados para o seu fabrico. No entanto, a quantidade de material utilizada não é proporcional ao tamanho dos projetos.

No caso das pás RE40.0 e RE45.2, verifica-se mesmo que a pá de comprimento mais pequeno requer ligeiramente mais materiais que a maior. Isto tem a ver com as especificidades e características inerentes a cada uma das pás.

Outro aspeto importante que é possível verificar, pela Figura 34, é que a resina e a fibra de vidro, isoladamente, têm um impacto bastante superior aos restantes materiais que compõem as pás ou são utilizados na sua produção.

O gráfico seguinte (Figura 35) apresenta dados semelhantes, mas em percentagem, o que permite reforçar a ideia de que as resinas e as fibras de vidro têm um impacto ambiental maioritário, em relação aos demais materiais, sendo as que mais contribuem para os resultados de PE finais.

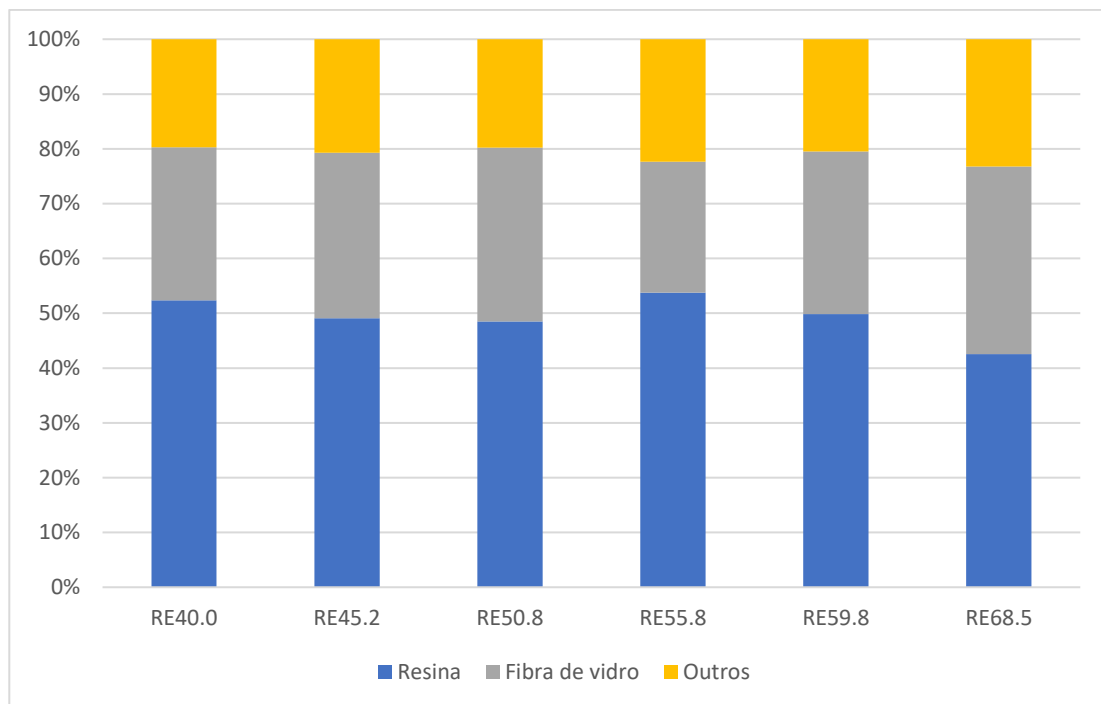


Figura 35- Contribuição da resina, fibra de vidro e restantes materiais para a pegada ecológica, em termos percentuais.

Na imagem abaixo representada (Figura 36) é possível observar a contribuição dos diferentes projetos para a fatia da produção.

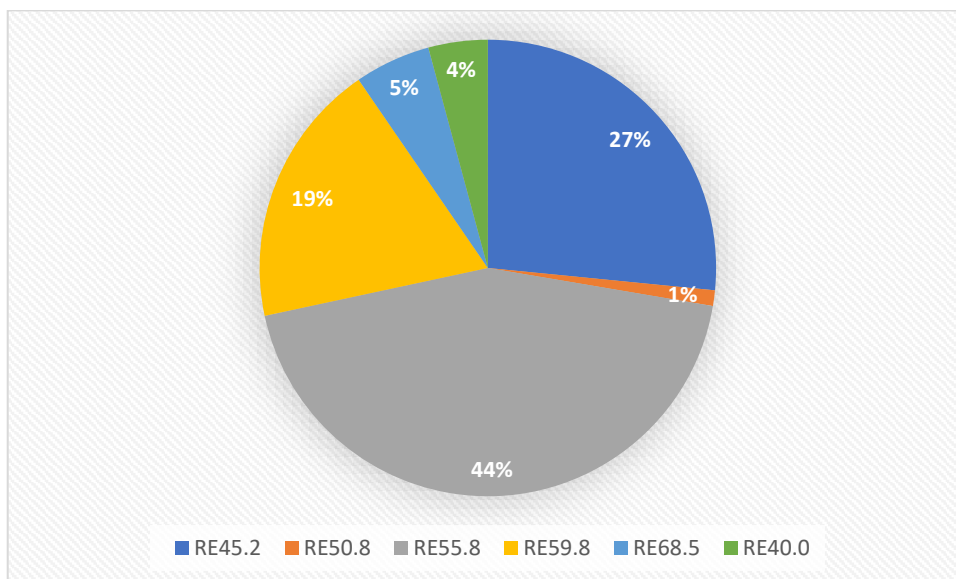


Figura 36- Contribuição dos vários projetos para a pegada ecológica da produção.

Conforme se pode verificar pela Figura 36, os processos de produção RE55.8, RE45.2 e RE59.8, têm um maior peso, respetivamente. Como já foi referido, de uma forma geral, quanto maior o tamanho das pás, mais matéria prima é necessária para a produção, no entanto, tal não é espelhado no gráfico, devido ao volume de produção.

De forma a tornar esta análise mais clara, pela leitura da Tabela 7, apresentada imediatamente de seguida, é possível verificar que os projetos com maior volume de produção foram os projetos RE55.8, RE45.2 e RE59.8 e, como tal, acabam por representar uma maior fatia no que à PE diz respeito.

Tabela 7- Volume de produção dos vários projetos, em 2017.

Projeto	Nº de pás produzidas
RE45.2	433
RE50.8	13
RE55.8	466
RE59.8	185
RE68.5	38
RE40.0	68

Apresenta-se, agora, uma análise da contribuição para a PE por componente (*pre-fab*) da pá RE45.2 (Figura 37).

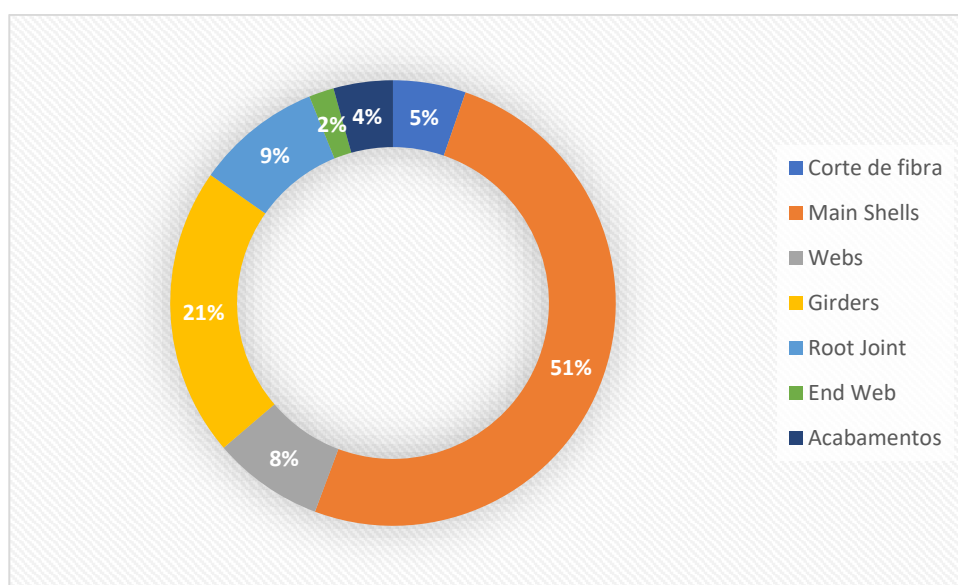


Figura 37- Contribuição dos pre-fabs para a pegada ecológica de uma pá.

Como demonstra o gráfico acima, a produção das *Main Shells* é aquela que detém a maior fatia da PE, por pá, seguida das *Girders*, com a segunda maior fatia, destacadamente. As *Webs* e a *Root Joint* apresentam um impacto semelhante. Já a produção da *End Web*, sendo um componente mais pequeno da pá, não tem grande contributo para a PE. O mesmo é possível dizer do processo de acabamentos, que, apesar de envolver bastantes químicos, designadamente massas e tintas, não tem grande expressão quando comparado com a produção global da pá. O impacto associado ao processo de corte de fibra advém das grandes quantidades de fibra, plástico e papel kraft sucata.

Serviços de transporte

No que toca aos serviços de transporte das matérias prima, desde o fornecedor até à empresa, pela análise da

Figura 33, verifica-se que tem associado um impacto de 5%, relativamente ao valor total de PE.

Sendo que, quanto maior a distância de transporte das matérias primas, maior o impacto ambiental associado, ao encontrar-se fornecedores localizados em sítios mais próximos da empresa está-se a reduzir a PE, relativa ao transporte. Mais, o transporte por camião é aquele que acarreta maior impacto para o ambiente, devendo ser considerada a possibilidade de substituir este pelo transporte por comboio ou navio de carga.

Serviços de preparação e gestão dos resíduos

Relativamente à preparação e gestão de resíduos, a análise da Figura 33 não permite ter uma perceção correta da importância deste serviço no contexto da empresa e das unidades industriais, em geral.

Como empresa certificada pela NP ISO 14001:2015, a Ria Blades SA rege-se por uma gestão cuidadosa e ambientalmente responsável, que se estende, em particular à gestão da produção de resíduos.

No sentido de demonstrar, numericamente, a importância desta gestão e os resultados práticos que advêm de uma gestão desta natureza, é feita, de seguida, uma análise comparativa.

Apresenta-se a Figura 38, que representa a contribuição dos processos principais da empresa para a PE total, no caso de não haver, ou de haver uma gestão irresponsável dos resíduos. Para isso, considerou-se que uma gestão irresponsável seria enviar todos os resíduos para aterro, sem qualquer tipo de valorização.

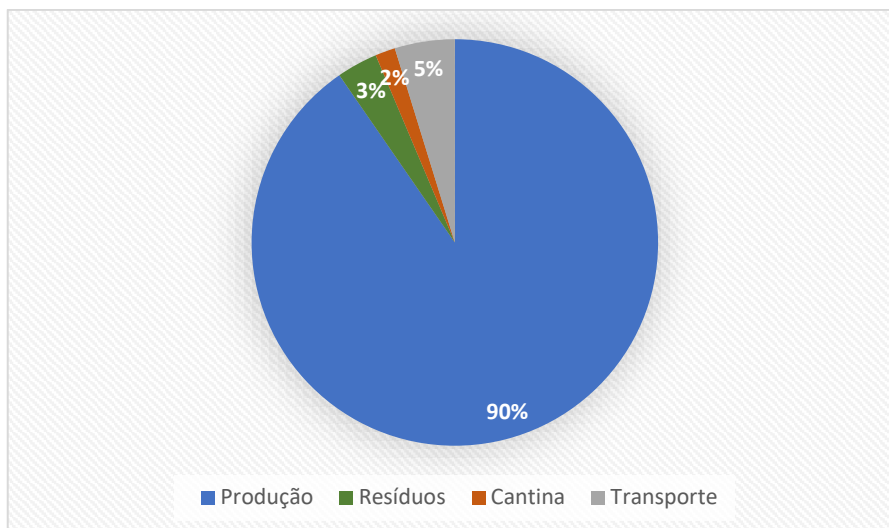


Figura 38- Contribuição dos processos principais da empresa para a pegada ecológica total - Caso hipotético de má gestão.

Analisando o gráfico, verifica-se a diferença de apenas um ponto percentual entre uma gestão irresponsável e a gestão dos resíduos que é feita atualmente, o que tem a ver com o facto dos valores estarem muito diluídos, sobretudo pelo efeito da produção.

No entanto, pela análise da Figura 39, que representa, em termos absolutos (e não percentuais), a diferença entre os dois tipos de gestão, esses valores são já bastante distintos.

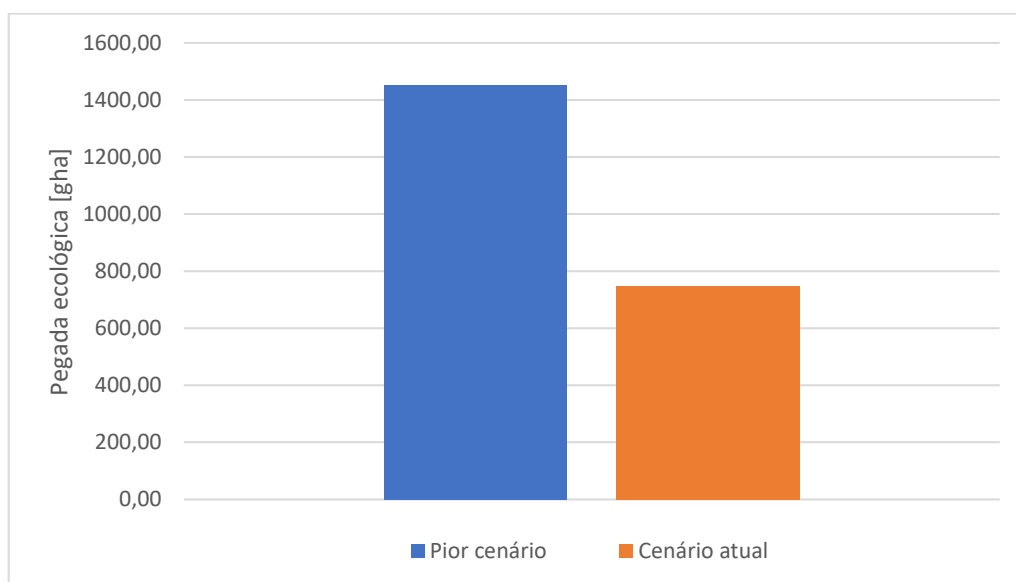


Figura 39- Comparação (Resíduos) - Cenário atual vs Pior cenário

Como demonstra o gráfico, o pior cenário representaria um valor de PE de cerca de 1400 gha, enquanto o valor verificado atualmente ronda os 800 gha. A diferença é significativa, apresentando, o cenário atual, um impacto de cerca de metade do que seria um cenário de má gestão de resíduos.

ANÁLISE COMPARATIVA – produção RE45.2 vs produção aerogerador

Realizou-se uma pesquisa, na base de dados EcolInvent, no sentido de encontrar algum fluxo de produção, ou de uma pá, ou, mesmo, de um aerogerador, que pudesse ser utilizado para efeitos comparativos. Encontrou-se o seguinte fluxo: *wind turbine construction, 2MW, onshore*.

Este fluxo representa a construção de um aerogerador com uma potência nominal de 2MW para utilização *onshore*.

O aerogerador é composto por vários componentes, como a *nacelle*, o rotor ou *hub*, as pás, a torre e a fundação, para além de outros componentes mais pequenos.

A análise foi realizada *from cradle to grave*, desde a transformação de uma zona de pasto em zona industrial e receção dos materiais de construção, até ao desmantelamento e tratamento dos materiais no seu fim de vida.

A Tabela 8, apresenta os aspetos relativos ao fluxo em questão.

Tabela 8- Aspetos relativos ao fluxo EcolInvent, de produção de um aerogerador de 2MW, de potência nominal [URL 10].

Inclui	Não inclui
<ul style="list-style-type: none"> • todos os materiais para construção do aerogerador, mas não a energia para a montagem; • transformação e uso do terreno; • a energia necessária para a instalação e desmantelamento do aerogerador. 	<ul style="list-style-type: none"> • a ligação do aerogerador à rede; • as operações de manutenção no aerogerador – é assumido um tempo de vida de 20 anos, sem necessidade de manutenção ou substituição de quaisquer partes; • perdas de materiais nem materiais auxiliares utilizados na produção dos diferentes componentes do aerogerador; • o impacto do transporte desde o local de produção até ao local de instalação.

Tendo em conta que, depois de produzidas, as pás RE45.2 destinam-se à instalação em aerogeradores de 2,045MW, a comparação entre este projeto e o fluxo encontrado pode ser feita.

Importa descrever as considerações tomadas para o cálculo do impacto da produção das pás RE45.2. Assim sendo, como referido em 4.6.1, a análise foi realizada *from cradle to gate*, desde a extração das matérias primas até a pá estar pronta a ser expedida.

Conforme se pode observar pela tabela abaixo representa (Tabela 9), o cálculo inclui e exclui vários fatores.

Tabela 9- Aspetos relativos ao cálculo do impacto ambiental das pás RE45.2.

Inclui	Não inclui
<ul style="list-style-type: none"> • todos os materiais utilizados para a produção da pá, quer materiais estruturais (que fazem parte da estrutura final da pá) quer materiais auxiliares, assim como as perdas no processo; • todos os consumos energéticos e de água durante o processo, ainda que sob algumas limitações (Ponto 4.6.5). 	<ul style="list-style-type: none"> • a energia necessária para a instalação das pás no aerogerador; • operações de manutenção ou substituição – é assumido um tempo de vida das pás de 20 anos; • o impacto do transporte desde o local de produção até ao local de instalação.

Clarificadas todas as considerações que podem interferir na análise comparativa, segue-se com os cálculos. Partindo dos dados da Tabela 10 e seguindo o raciocínio dado pela equação, obteve-se a fração de peso, ao nível da PE, da produção das pás, em relação ao resto do aerogerador.

Tabela 10- Valores de pegada ecológica da produção de uma pá RE45.2 e de um aerogerador (dados Ecolnvent).

	EF [gha]
RE45.2	24,75
Aerogerador 2MW	657

$$f(pá) = 24,75 \left[\frac{gha}{pá} \right] * 3 \left[\frac{pás}{set} \right] * 1 \left[\frac{set}{aerogerador} \right] * \frac{1}{657} \left[\frac{aerogerador}{gha} \right] = 0,1139$$

Pelos cálculos acima, obteve-se um peso percentual de 11,39% de um set de pás, num aerogerador, em termos de PE. Considerando as diferenças metodológicas na obtenção do valor de PE das pás RE45.2 e do aerogerador (proveniente do Ecolnvent), o valor é bastante plausível e permite continuar esta análise.

Destacam-se como principais diferenças metodológicas, o facto da análise Ecolnvent ter incluído o transporte e instalação do aerogerador no parque eólico, bem como a transformação prévia do terreno agrícola para construir a nave industrial para a produção do aerogerador.

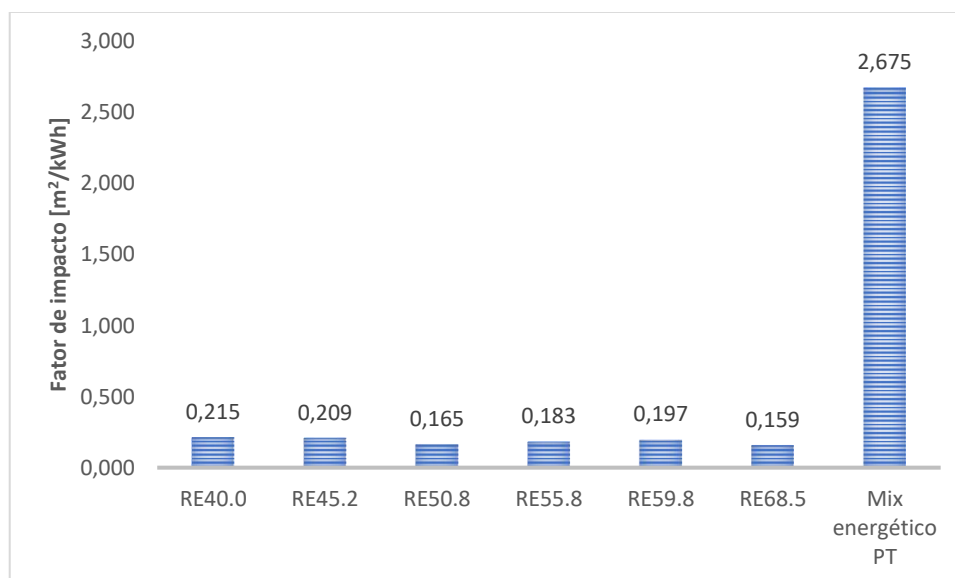
ANÁLISE COMPARATIVA – produção eletricidade através de um aerogerador que utiliza um set de pás RE45.2 vs *mix* energético português

Segue-se, agora, com a comparação entre o impacto ambiental associado ao *mix* energético português e o impacto ambiental associado à produção elétrica por aerogeradores instalados com *sets* de pás produzidas na Ria Blades SA. Em anexo, está disponível a metodologia detalhada, seguida para obter os valores presentes na Tabela 11 (Anexo IV).

Tabela 11- Fatores de impacto relativos à produção das pás da Ria Blades SA.

	PE set [m ²]	Potência [MW]	Fator de impacto [m ² /kWh]
RE40.0	2,49*10 ⁵	2,000	0,2154
RE45.2	2,47*10 ⁵	2,045	0,2091
RE50.8	3,43*10 ⁵	3,600	0,1646
RE55.8	3,81*10 ⁵	3,600	0,1827
RE59.8	4,10*10 ⁵	3,600	0,1967
RE68.5	5,70*10 ⁵	6,200	0,1590

Os valores presentes na Tabela 11 e representados na Figura 40 permitem tirar algumas conclusões, acerca da eficiência das pás produzidas na Ria Blades SA e da energia eólica, em geral (em m²/kWh).



*Figura 40- Comparação entre os fatores de impacto relativos à utilização das pás da Ria Blades SA e ao *mix* energético português.*

Em primeiro lugar, verifica-se que a pá produzida com maior PE (coincide também com aquela que possui maior tamanho) é também aquela que tem um fator de impacto associado menor, isto é, tem uma PE menor por cada kWh de energia produzido.

Por outro lado, a PE associada à produção de energia eólica, utilizando as pás produzidas na Ria Blades SA, é bastante inferior àquela associada ao *mix* energético português. Isto prende-se com o facto do *mix* envolver energia de variadas fontes, algumas delas bastante poluentes, como é o caso dos combustíveis fósseis (carvão, gás natural e fuelóleo) e energia nuclear.

No limite, a figura acima confirma que uma aposta total em energia eólica, fazendo desta a única fonte de energia elétrica, conduziria a uma redução substancial da PE associada ao *mix* energético nacional.

Convém, no entanto, reforçar a ideia de que foram aceites alguns pressupostos que podem conduzir a um erro considerável associado a esta análise. Ainda assim, não olhando para os valores absolutos, mas para o panorama, em geral, é possível concluir que a produção de eletricidade de fontes eólicas envolve uma PE bastante inferior.

4.6.5. Limitações da análise

Como referido anteriormente, a metodologia ACV possui várias aplicações e nas mais diversas áreas, permitindo desenvolver uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas a um dado produto ou atividade.

Porém, existem algumas limitações associadas a este tipo de análise.

No presente capítulo, são expostas as principais limitações deste estudo, limitações estas que introduzem alguma incerteza no resultado final, sendo, por isso, de todo o interesse identificá-las devidamente.

A primeira, e, porventura, a maior limitação ao nível deste tipo de análise, prende-se com a falta de informação, ou existência de informação limitada acerca dos impactos ambientais dos diversos processos, em bases de dados ambientais. Na realização deste trabalho, utilizou-se a base de dados EcoInvent, por ser a base de dados mais confiável e mais aceite pela comunidade ACV, para este tipo de análise.

Para uma pesquisa e utilização mais eficiente de fluxos EcoInvent, criou-se uma tabela, que compila os dados e permite inferir acerca da qualidade de cada fluxo. A Tabela 12 representa o modelo em questão, sustentado por três exemplos de materiais representativos.

Tabela 12- Excerto da tabela de compilação de fluxos EcolInvent utilizada.

Material	Fluxo EcolInvent				
	Existe?	Qualidade	Nome fluxo	Alternativa	Nome fluxo
Fibra de vidro	Sim	Bom	glass fibre production	-	-
Balsa	Não	-	-	Sim	softwood forestry, mixed species, sustainable forest management
Folha desmoldante	Sim	Razoável	polypropylene production, granulate	-	-

Como é possível verificar na Tabela 12, ocorrem três situações diferentes e que são representativas das situações que foram encontradas para os restantes fluxos.

No caso da fibra de vidro, foi encontrado um fluxo EcolInvent que traduzia bastante bem as características pretendidas do material em questão. Neste caso, logicamente o fluxo é aceite e utilizado.

Relativamente à balsa, não foi encontrado durante a pesquisa nenhum fluxo tão específico quanto pretendido, isto é, que traduzisse as características da balsa utilizada na produção. Ou seja, teve que fazer-se uma busca por alternativas a este fluxo. O fluxo encontrado é um fluxo mais geral que traduz o impacto ambiental médio da produção de madeira de várias espécies em florestas de gestão sustentável.

Por último, o fluxo encontrado para a folha desmoldante (material à base de polipropileno) refere-se à produção de polipropileno granulado e não de folha de polipropileno. É possível perceber que os materiais referidos diferem em termos de impacto ambiental, no entanto, essa diferença não está explícita no fluxo.

Outra limitação tem a ver com a necessidade de cingir a análise aos materiais prioritários. A Ria Blades trabalha com uma enorme quantidade e variedade de materiais, o que tornaria a quantificação de todos os materiais demasiado exaustiva e sem que houvesse uma real mais-valia para o estudo. A solução encontrada foi agrupar os materiais por categorias, isto é, grupos de materiais com características semelhantes. Por exemplo, fibras de vidro (engloba todos os tipos de fibra de vidro), fitas adesivas (engloba todos os tipos de fitas utilizados), entre outros.

Desta forma, continua a ser necessário desprezar alguns materiais, mas é possível direcionar o foco para os materiais maioritários.

Se a não inclusão de alguns materiais se deveu às razões acima referidas, outros foram desprezados por não haver forma de contabilização e inexistência de fluxos EcolInvent. Os EPIs e rolos de pintura, não foram incluídos na análise, apesar de apresentarem uma massa bastante considerável e serem utilizados pelos colaboradores.

A necessidade de excluir alguns materiais da análise ou de cingir a análise aos materiais maioritários origina uma diferença considerável entre os *inputs* considerados e os verificados na realidade. Da mesma forma, verificou-se que os *outputs* do processo, isto é, a massa de resíduos, é bastante inferior considerando apenas os materiais maioritários, do que a registada no documento

MIRR 2017. Entre os materiais não incluídos na análise, mas que poderiam ter algum impacto no resultado final, estão os EPIs, porcas e parafusos, trinchas e rolos de pintura, entre outros com menor massa.

No que respeita ao cálculo do impacto associado ao transporte das matérias primas, foi necessário cingir, também esta análise, aos materiais maioritários.

A quantidade de alimentos utilizados nos serviços de cantina e cafeteria foi obtida por aproximação, através da realização de um balanço mássico, a partir de, apenas, um valor conhecido, a quantidade de RSU produzidos semanalmente.

Os consumos agregados de energia da empresa foram, como referido anteriormente, divididos pelo número total de pás produzidas, em 2017, obtendo-se o mesmo consumo por pá, para cada um dos projetos. Esta foi a maneira encontrada para desagregar os consumos de energia, para uma base, por pá, havendo, no entanto, consciência das limitações inerentes.

No entanto, no futuro, com uma possível implementação da norma ISO 50001:2011, podem passar a ser conhecidos e monitorizados todos os pontos de consumo e possibilitando a obtenção dos valores de consumos energéticos por pá e, até, por componente.

Todas estas limitações têm influência no resultado final, fazendo com que existam desvios em relação à realidade.

5. Conclusão

Como empresa certificada segundo as normas NP EN ISO 14001:2015, NP EN ISO 9001:2015 e OHSAS 18001:2007, a Ria Blades SA prima por um SGA baseado na melhoria contínua. Esta melhoria, pressupõe ir além dos mínimos ambientais e procurar sempre soluções que possam representar mais-valias, quer para a empresa quer para o ambiente.

Seguindo esta lógica, procurou-se, não só incluir uma perspetiva de ciclo de vida no SGA, mas realizar uma ACV, para, posteriormente, calcular-se o impacto ambiental da empresa, utilizando a PE como indicador.

Através desta ACV realizada à unidade industrial da Ria Blades SA, concluiu-se que o maior contributo para o valor final de PE vem da produção, como era expectável. É de referir que, o que faz aumentar a PE da produção, não tem a ver com as tecnologias implementadas, mas sim com o tipo de materiais utilizados. Uma otimização do processo com vista à melhoria da PE teria de passar por umas das duas opções seguintes, ou, idealmente, ambas: substituição dos atuais materiais usados na produção por alternativas mais *eco-friendly*, isto é, que apresentem fatores de impacto ambiental menores; aumentar o rendimento e eficiência dos aerogeradores onde são instaladas as pás.

No que diz respeito à PE dos serviços de transporte considerados, é possível concluir que para uma redução do valor desta PE seria necessário a procura de fornecedores localizados em zonas mais próximas da unidade industrial e, também, a alteração do modo de transporte dos materiais, que habitualmente se faz em transporte rodoviário (camião) para, preferencialmente, transporte marítimo (navio de carga) ou ferroviário (comboio).

Relativamente aos serviços de preparação e gestão de resíduos, é de frisar o esforço e preocupação da Ria Blades SA, na procura das melhores soluções para os resíduos produzidos. Do total de resíduos, uma massa considerável tem já como destino operações de valorização, como incineração com recuperação energética ou reciclagem. No entanto, há ainda uma importante parte que continua a ser depositada em aterro, por falta de outras opções. Neste sentido, é essencial uma constante procura de alternativas para estes resíduos que ainda não estão a ser valorizados, para que a empresa atinja um patamar de excelência, no que toca à gestão de resíduos e contribua cada vez mais para uma economia circular.

Quanto ao valor da PE obtido, decorrente da atividade industrial da empresa, durante o ano de 2017 – 43928 gha – é, indubitavelmente grande, assim como seria de esperar para uma empresa que trabalha com um grande volume de matérias primas de natureza química. A comparação da PE obtida com as PEs de outras empresas do ramo, poderia ser algo bastante interessante, no entanto, o cálculo deste indicador ambiental não é (ainda) uma prática comum na indústria.

Fica a sugestão da criação de uma rede de partilha de dados, nomeadamente, dados referentes às performances ambientais das empresas do ramo, para haver uma cooperação entre todos os envolvidos nesta indústria, no sentido de, rapidamente, tornar-se esta energia sinónimo inquestionável de sustentabilidade ambiental.

Não é completamente correto dizer que a energia eólica é uma energia limpa. Logicamente que, após a instalação dos aerogeradores, a energia produzida não envolve quaisquer emissões

para a atmosfera, podendo ser apelidada de limpa, no entanto, os processos de produção, montagem e desmantelamento acarretam impactos não desprezáveis para o ambiente.

Os resultados obtidos na análise comparativa, permitem confirmar que a energia eólica é uma excelente tecnologia no que respeita à PE, sendo que, para produzir a mesma quantidade de energia, comparando com o *mix* português, a área biologicamente produtiva para absorver os recursos utilizados envolvida é muito menor.

Assim, concluiu-se que, apesar de uma pressão ambiental inicial para a produção dos dispositivos produtores de energia eólica bastante elevada, à medida que os anos passam e que os mesmos vão produzindo energia, essa pressão vai sendo diluída. Por outras palavras, a energia eólica possui impacto ambiental, essencialmente, no início e no fim de vida dos aerogeradores, enquanto que outras fontes de energia, nomeadamente de origem fóssil, têm um impacto sempre negativo no ambiente.

Acrescente-se ainda que, a energia eólica, em contraste com fontes de origem fóssil e nuclear, possui a vantagem de causar menor impacto nos recursos, na saúde humana e na qualidade dos ecossistemas.

Assim, este tipo de energia é uma excelente solução para fornecimento de energia elétrica, afigurando-se como uma das energias com maior potencial para fazer face às alterações climáticas.

Como foi referido, a análise conta com algumas limitações, sendo que todas (ou, pelo menos, as mais importantes) estão devidamente identificadas. Apesar destas limitações, a ACV não deixa de ser uma ferramenta importante para a identificação dos impactos ambientais associados aos produtos, possibilitando a elaboração de estratégias para redução dos mesmos e procura de alternativas para a melhoria dos processos e produtos.

Realizado este trabalho na Ria Blades SA, ficam algumas sugestões de trabalhos futuros que poderiam servir de complemento, e poderiam ser interessantes no contexto da empresa e mesmo de tornar a energia eólica numa energia cada vez mais sustentável:

- ACV completo de um aerogerador Servion, incluindo as fases de construção, funcionamento, desmantelamento e fim de vida. Esta análise pressupunha, uma ACV, não só à Ria Blades SA, mas também à Ventipower, no sentido de apurar com mais exatidão qual a PE da produção de um aerogerador e qual a PE/kWh de eletricidade produzida. Desta forma, seria possível uma comparação com o *mix* energético português mais aproximada da realidade;
- Utilização de outros fatores de impacto na etapa de AICV, designadamente, a pegada de carbono, um indicador que poderia apresentar resultados diferentes e igualmente interessantes no que se refere à produção de estruturas geradoras de energia eólica;
- Ao nível da Ria Blades SA, seria interessante a realização da descaraterização dos resíduos que, atualmente, têm como destino a deposição em aterro, no sentido de facilitar o reaproveitamento e encaminhamento para reciclagem.

6. Fontes Bibliográficas

- Alvarenga, R.A.F. de; Júnior, V.P. da S., Soares, S.R., 2012. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. *J. Clean. Prod.* 28, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.06.023>
- Barrett, J., 2001. Component ecological footprint: Developing sustainable scenarios. *Impact Assess. Proj. Apprais.* 19, 107–118. <https://doi.org/10.3152/147154601781767069>
- Branco, C.V.P.A., 2012. A Pegada Ecológica das Organizações. Universidade do Porto.
- CRESESB, 2008. Energia elóica, principios e tecnologias.
- DGA, 2000. Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável.
- Faria, C.H.G., 2016. Caracterização dos resíduos sólidos produzidos no fabrico de pás de aerogerador. Aveiro.
- Galli, A., 2015. On the rationale and policy usefulness of ecological footprint accounting: The case of Morocco. *Environ. Sci. Policy* 48, 210–224. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.01.008>
- Galli, A., Giampietro, M., Goldfinger, S., Lazarus, E., Lin, D., Saltelli, A., Wackernagel, M., Müller, F., 2016. Questioning the Ecological Footprint. *Ecol. Indic.* 69, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.014>
- Leung, D.Y.C., Yang, Y., 2012. Wind energy development and its environmental impact: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 1031–1039. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.024>
- Nichols, M., 2003. An application of the Ecological Footprint Method to an Eco-tourism Resort : A case study of Kingfisher Bay Resort and Village, Fraser Island. University of the Sunshine Coast.
- Pinheiro, A.D. da C., 2016. Sistema de automação de gestão visual da fábrica. Aveiro.
- Ragheb, M., 2014. Components of wind machines.
- Ribeiro, M.A.V., 2012. Análise do Value Stream Mapping na Produção de Pás Eólicas : o caso Riablades. Universidade de Aveiro.
- Saidur, R., Rahim, N.A., Islam, M.R., Solangi, K.H., 2011. Environmental impact of wind energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 2423–2430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>
- Tremeac, B., Meunier, F., 2009. Life cycle analysis of 4.5 MW and 250 W wind turbines. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 2104–2110. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.001>
- van den Bergh, J.C.J.M., Verbruggen, H., 1999. Spatial Sustainability, Trade and Indicators: An Evaluation of the “Ecological Footprint.” *Ecol. Econ.* 29, 63–74. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00032-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00032-4)
- Wang, S., Wang, S., 2015. Impacts of wind energy on environment: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 49, 437–443. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.137>

[URL 1]

<https://www.footprintnetwork.org/resources/data/> (consultado em 24/10/2017)

[URL 2]

http://wwf.panda.org/how_you_can_help/live_green/footprint_calculator/ (consultado em 13/11/2017)

[URL 3]

https://zero.org/a-global-footprint-network-e-a-zero-mostram-a-evolucao-desde-1961-da-pegada-ecologica-de-portugal-com-um-aumento-de-73-somos-o-pais-com-a-9a-pegada-mais-elevada-no-mediterraneo-e-com-6a-mais-baixa/#_ftn2 (consultado em 13/11/2017)

[URL 4]

<https://www.altenergymag.com/article/2015/04/wind-energy-timeline-%E2%80%93-from-persian-windmills-crushing-grains-to-vesta%E2%80%93s-wind-turbines-churning-out-8-mw-of-output/19496> (consultado em 25/03/2018)

[URL 5]

<http://windenergyfoundation.org/about-wind-energy/history/> (consultado em 25/03/2018)

[URL 6]

<https://sites.google.com/a/temple.edu/urbanwind/services/turbine-options-and-specifications> (consultado em 02/04/2018)

[URL 7]

<http://gwec.net/global-figures/graphs/> (consultado em 02/04/2018)

[URL 8]

<http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> (consultado em 12/05/2018)

[URL 9]

<http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/potencia> (consultado em 12/05/2018)

[URL 10]

<https://www.ecoinvent.org> (consultado de 19/02/2018 a 25/05/2018)

[URL 11]

<https://www.scribd.com/doc/97296344/Materials-and-Manufacturing-Techniques-for-Wind-Turbine-Blades> (consultado em 11/05/2018)

Anexos

Anexo I – Análise em STAN 2.6 do processo de produção do projeto RE45.2.

➤ Processo global

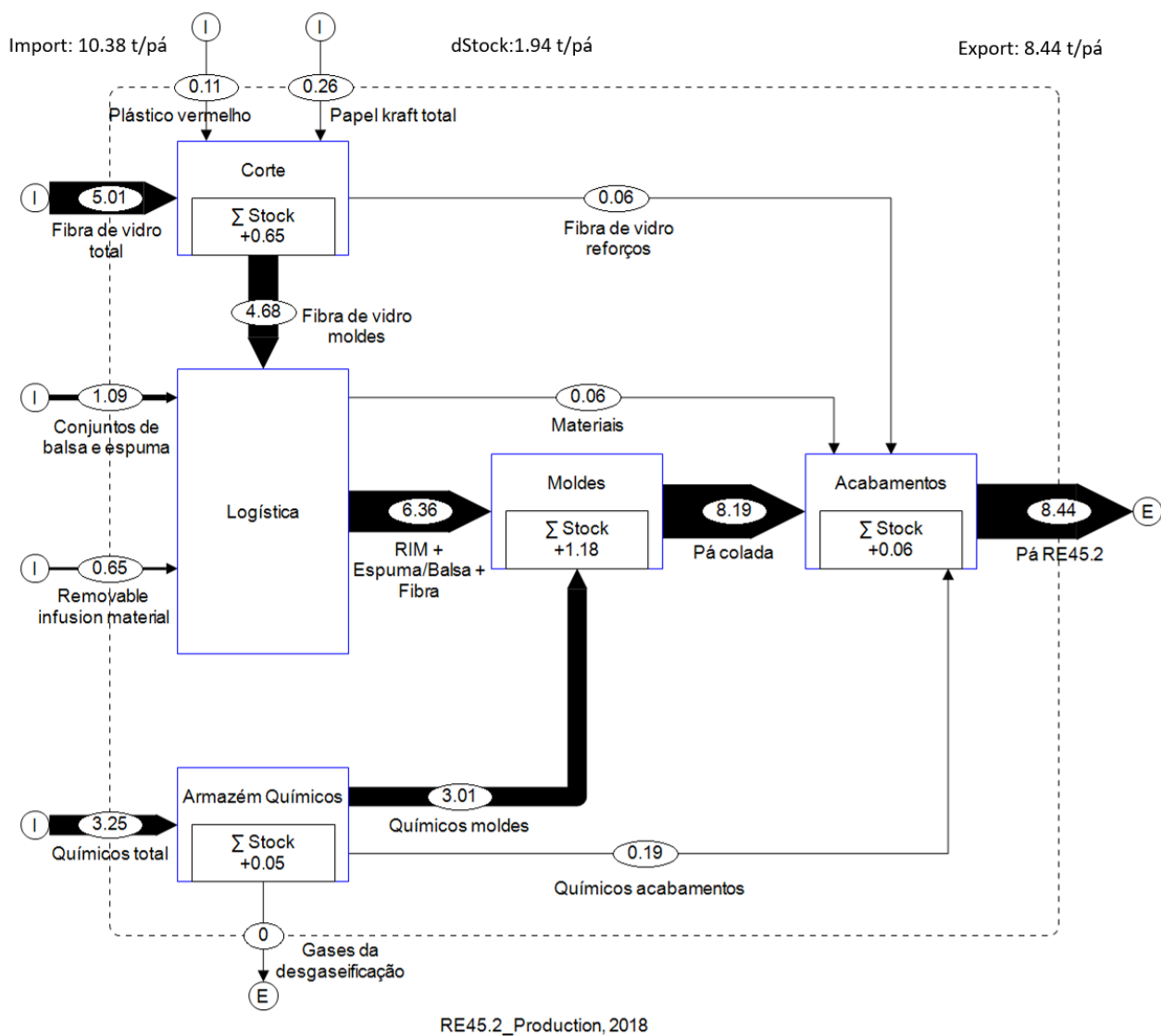


Figura 41- Representação em STAN 2.6 do processo de produção global de uma pá RE45.2.

➤ Corte

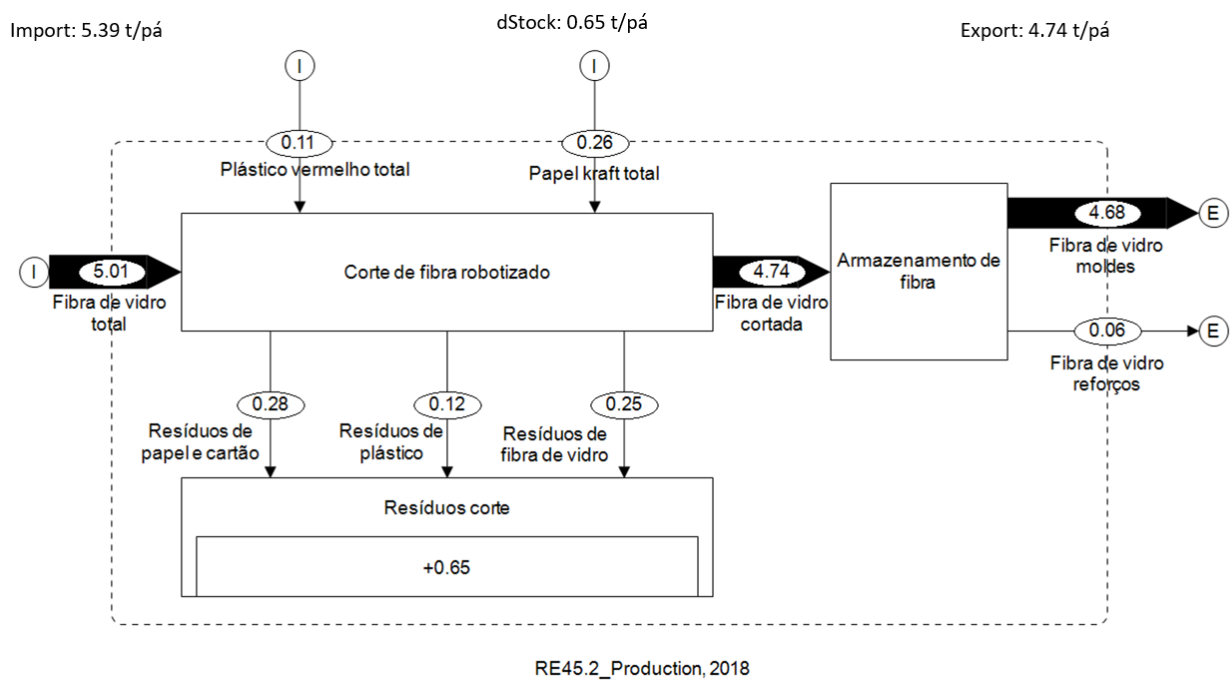


Figura 42- Representação em STAN 2.6 do processo de corte para a produção de uma pá RE45.2.

➤ Logística

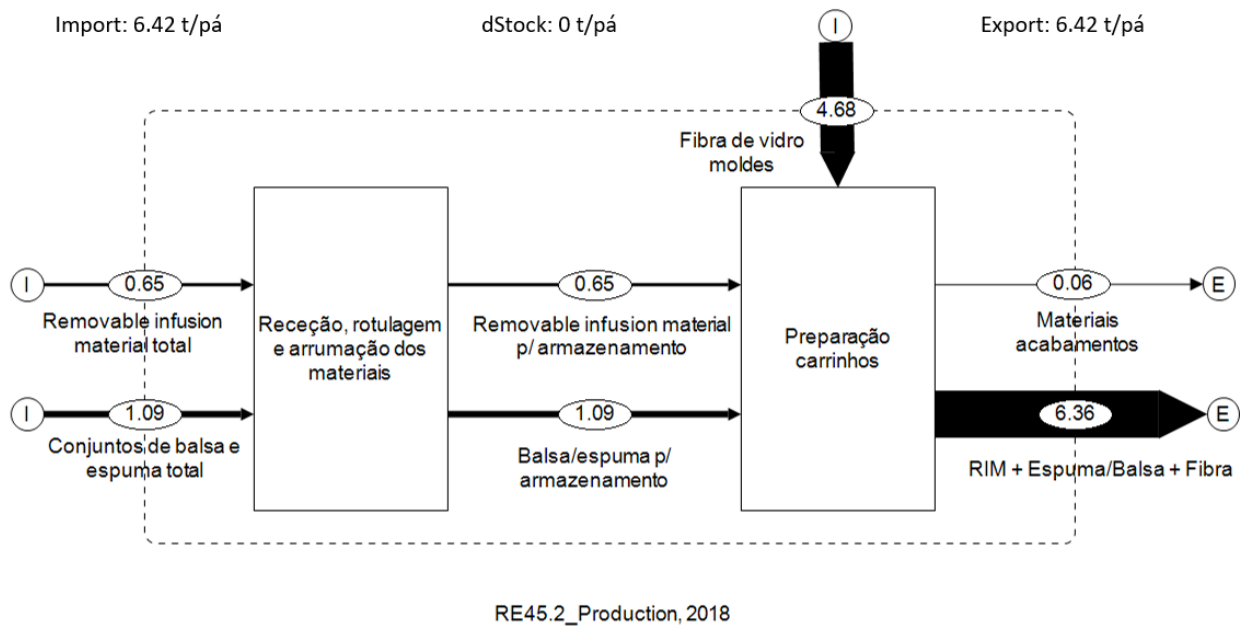


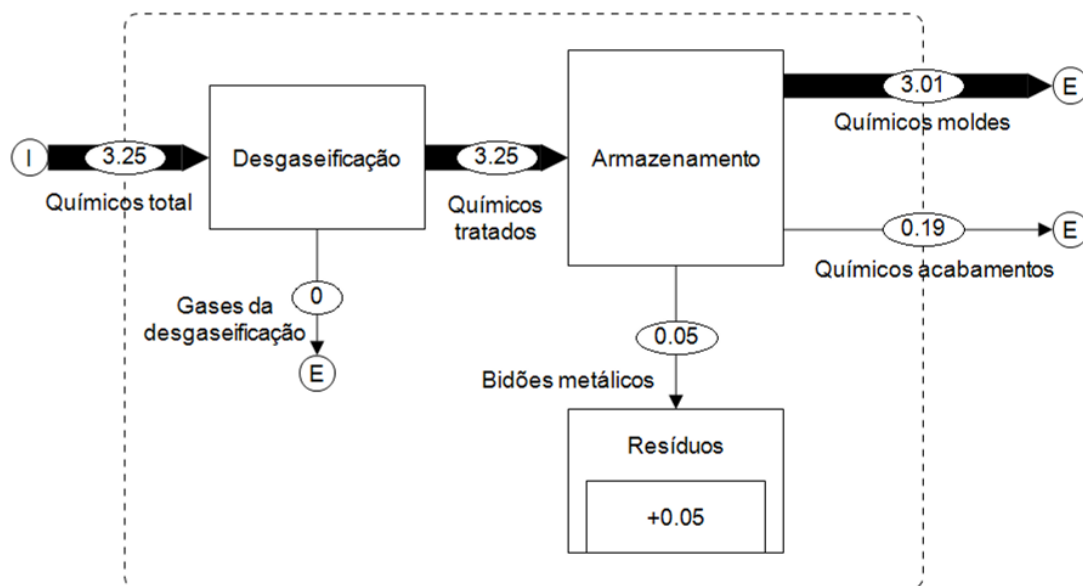
Figura 43- Representação em STAN 2.6 do processo de logística para a produção de uma pá RE45.2.

➤ Armazém Químicos

Import: 3.25 t/pá

dStock: 0.05 t/pá

Export: 3.2 t/pá



RE45.2_Production, 2018

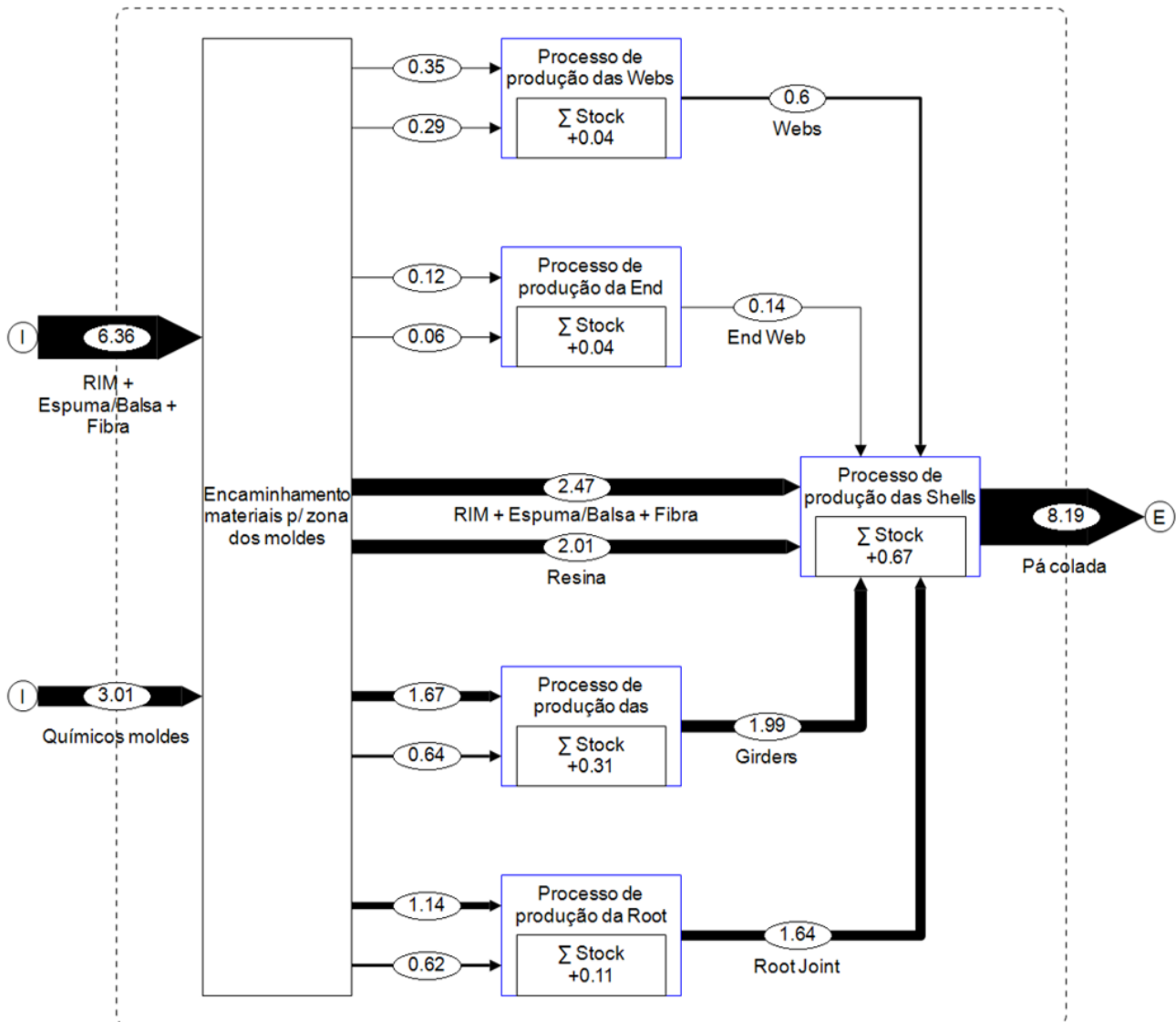
Figura 44- Representação em STAN 2.6 do processo de armazenagem de químicos para a produção de uma pá RE45.2.

➤ **Moldes**

Import: 9.37 t/pá

dStock: 1.18 t/pá

Export: 8.19 t/pá



RE45.2_Production, 2018

Figura 45- Representação em STAN 2.6 do processo de produção de uma pá RE45.2, no edifício dos moldes.

➤ Produção das Webs

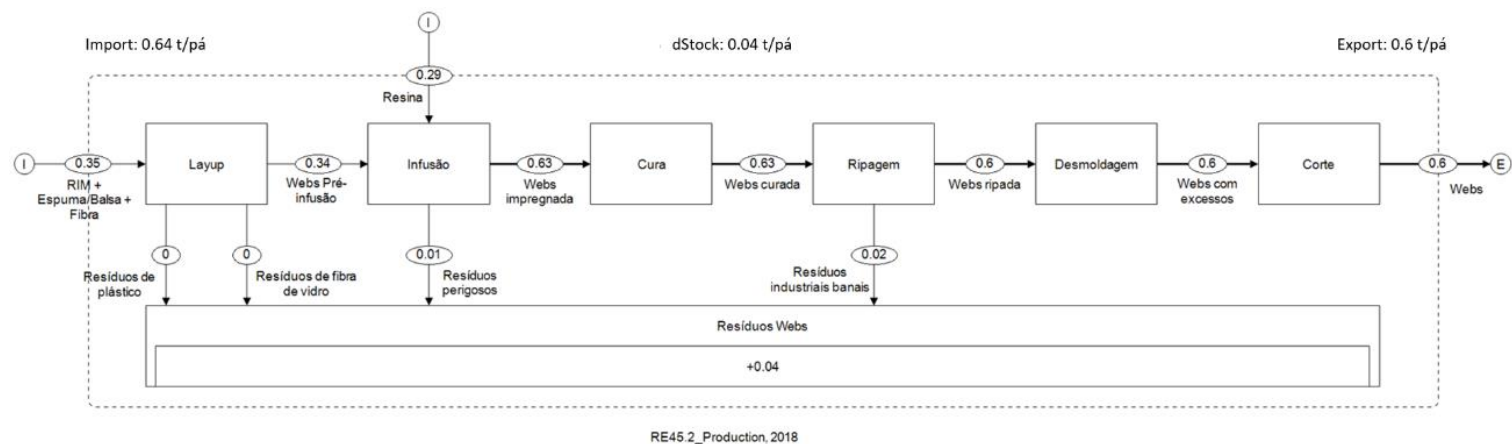


Figura 46- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção das Webs de uma pá RE45.2.

➤ Produção da End Web

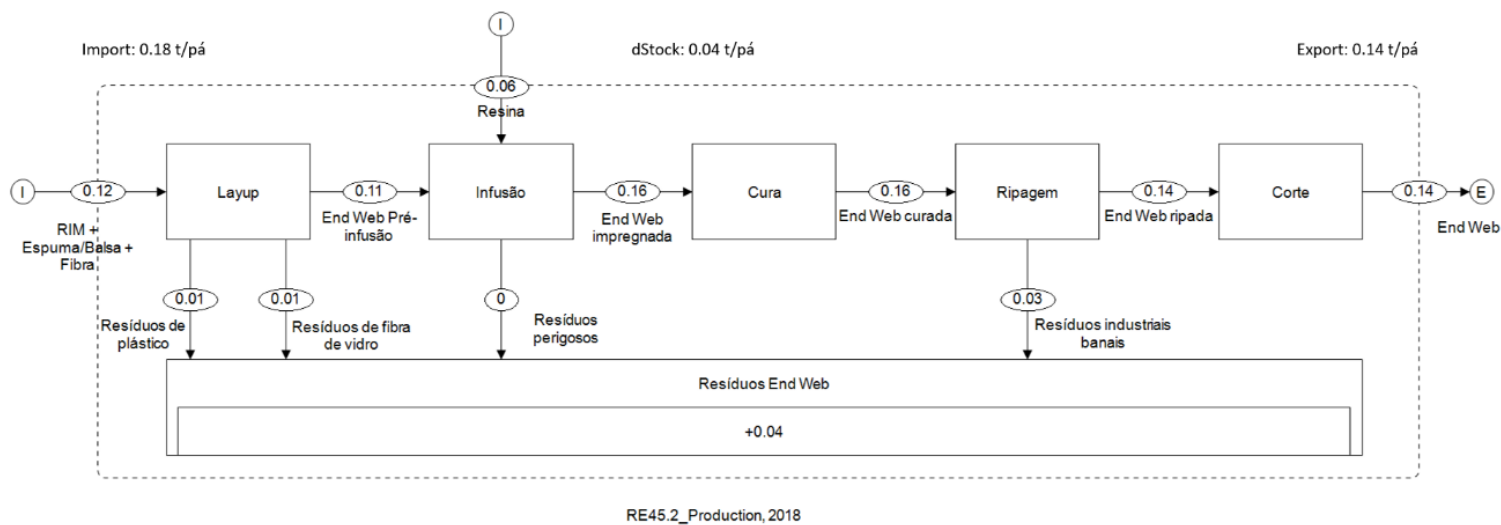


Figura 47- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção da End Web de uma pá RE45.2.

➤ Produção das Girders

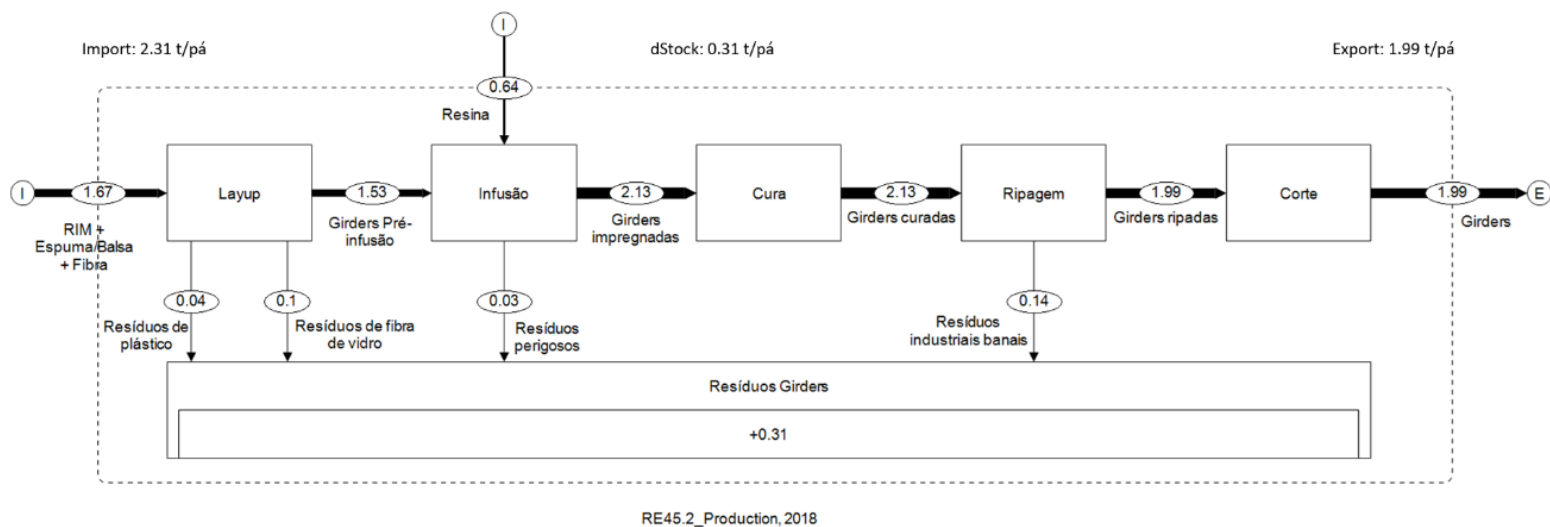


Figura 48- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção das Girders de uma pá RE45.2.

➤ Produção da Root Joint

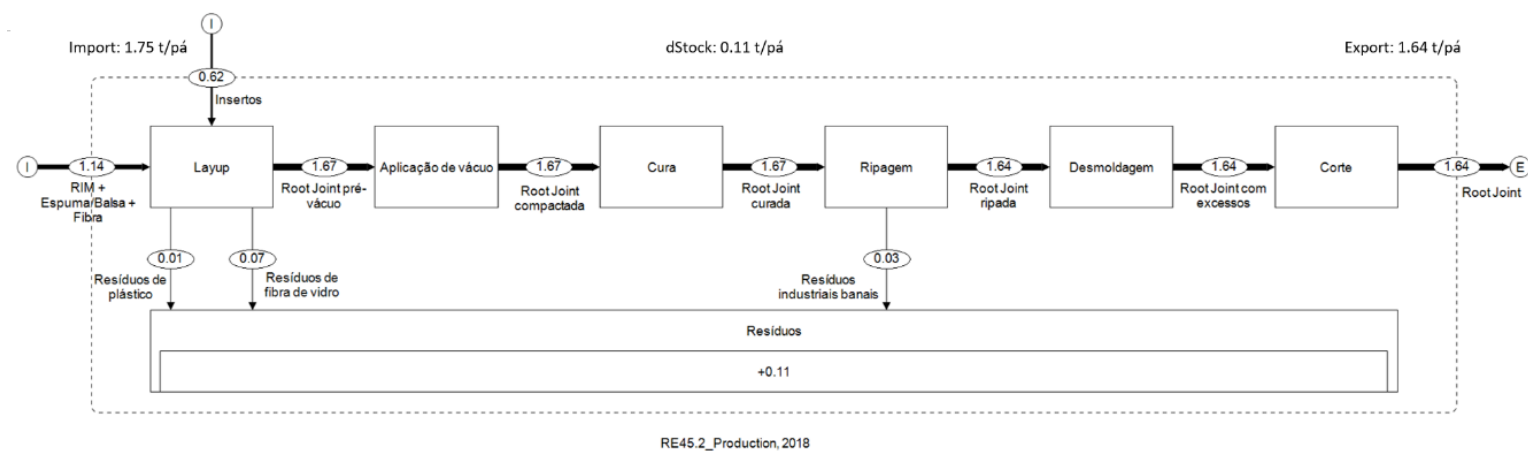


Figura 49- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção da Root Joint de uma pá RE45.2.

➤ Produção das Main Shells

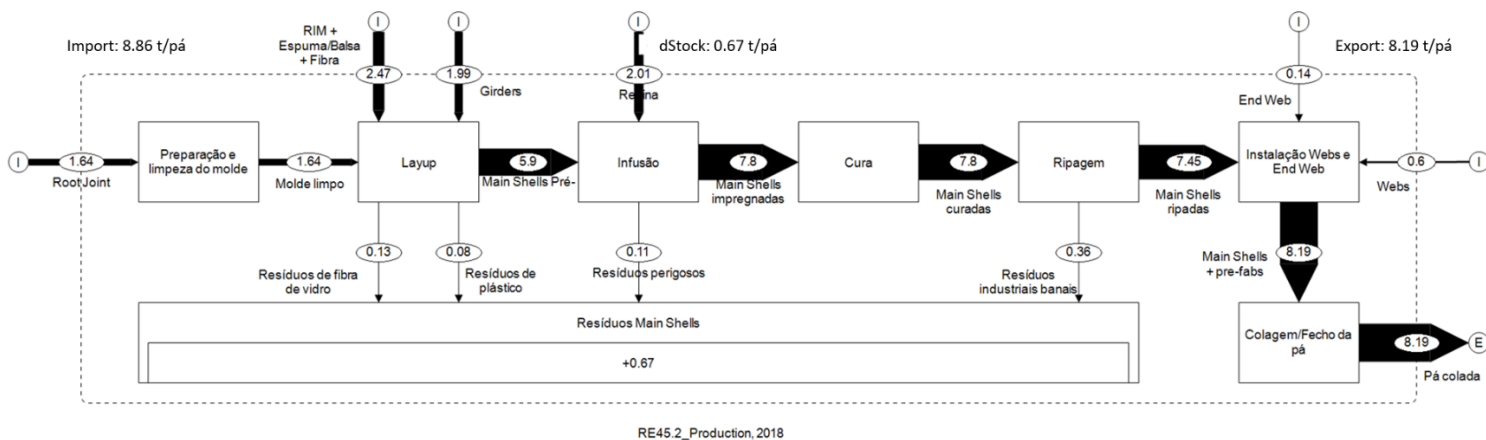


Figura 50- Representação em STAN 2.6 do subprocesso de produção das Main Shells de uma pá RE45.2.

➤ Acabamentos

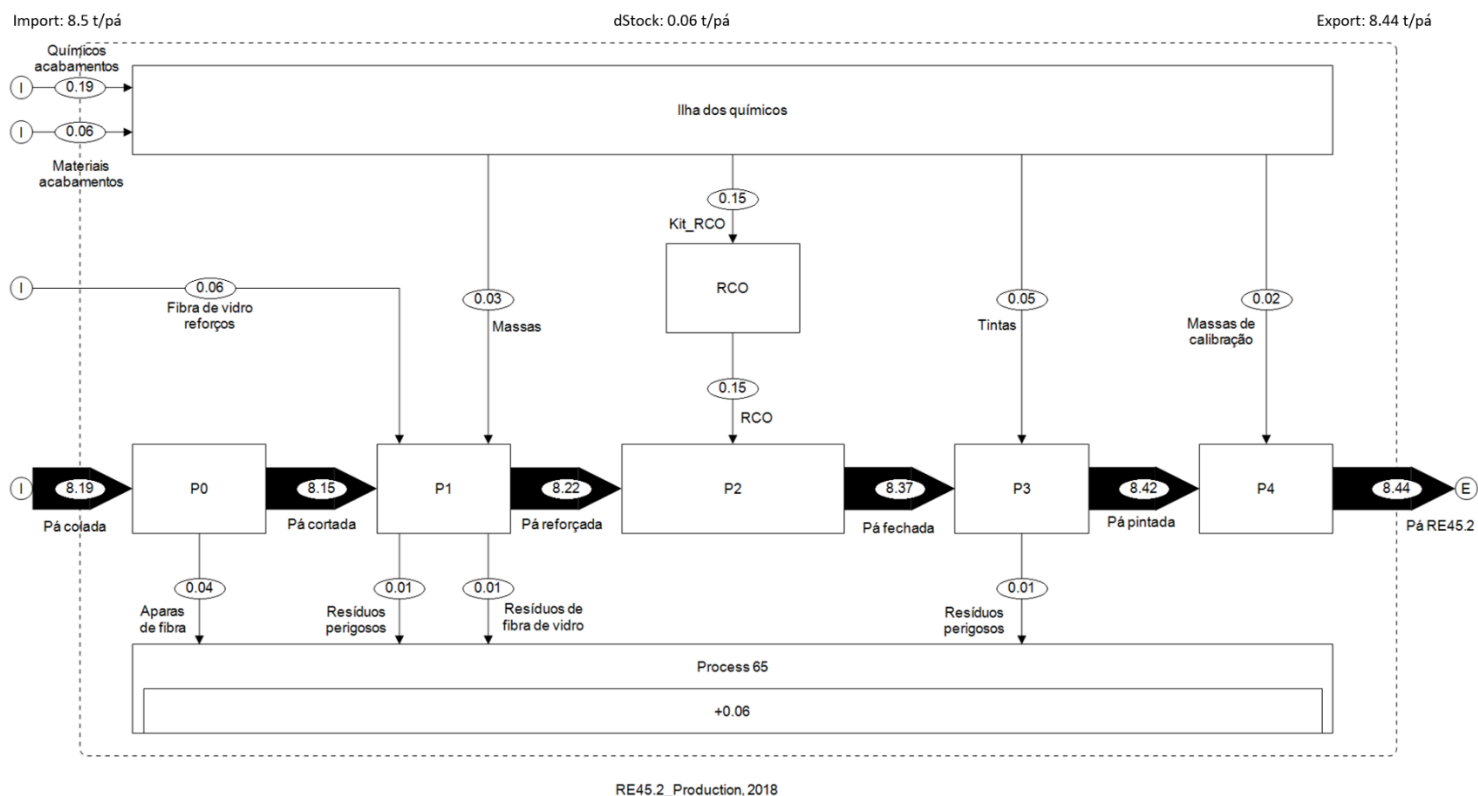


Figura 51- Representação em STAN 2.6 do processo de produção de uma pá RE45.2, no edifício dos acabamentos.

Anexo II – Balanço mássico em STAN 2.6 aos serviços de cantina e cafetaria.

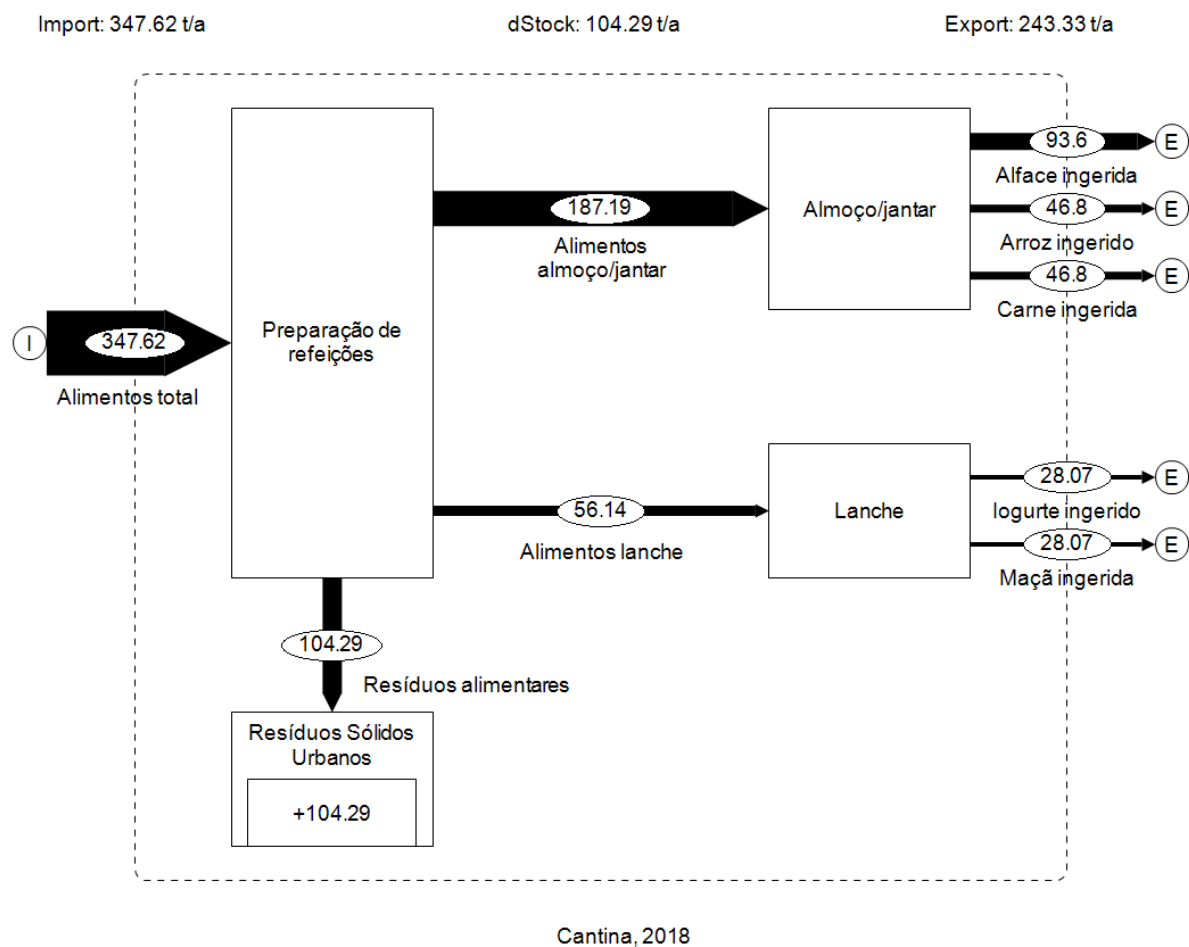


Figura 52- Representação em STAN 2.6 do processo de preparação de refeições em cantina da Ria Blades SA.

Anexo III – Base de dados para cálculo ACV utilizada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		includedProcesses		generalComment						
2	10000	A análise de ciclo de vida à unidade industrial da Ria Blades SA inclui a análise do processo principal de produção mas também dos serviços de suporte.		O inventário refere-se ao a um determinado ano. O resultado obtido encontra-se na célula J15 e traduz o impacto ambiental em termos de pegada ecológica (possível escolher entre entre quatro opções: CO2, land occupation, nuclear, total).						
3	Unit Process Raw Data									Total
4	Processo produtivo Ria Blades SA									Ecological Footprint (total)
5	number10	category11	subCategory12	name15	location16	unit17	meanValue	ns1:inputGroup	ns1:outputGroup	(m2a/unit)
6	9001	produção	produção	1 - Processo de produção RE45.2	PT	pá	433	1	0	107155598,96
7	9002	produção	produção	2 - Processo de produção RE50.8	PT	pá	13	1	0	4457327,35
8	9003	produção	produção	3 - Processo de produção RE55.8	PT	pá	466	1	0	177352823,04
9	9004	produção	produção	4 - Processo de produção RE59.8	PT	pá	185	1	0	75801212,38
10	9005	produção	produção	5 - Processo de produção RE68.5	PT	pá	38	1	0	21674196,63
11	9006	produção	produção	6 - Processo de produção RE40.0	PT	pá	68	1	0	16950208,50
12	9007	transporte	transporte raw material	7 - Serviços de transporte	PT	ano	1	0	0	21294471,65
13	9008	restauração	restauração	8 - Serviços de cantina e cafetaria	PT	refeição	1300	0	0	7111617,42
14	9009	resíduos	gestão e tratamento	9 - Serviços de gestão e tratamento de resíduos	PT	ano	1	0	0	7478623,85
15	10000	produção	produção	Processo produtivo Ria Blades SA	PT	ano	1,00		0	439276079,78
16										
17										
18										

RB_Indicadores_Desagregados
10000
9001
90010
90011
90012
90013
90014
90015
90016
90017
9002
9003
9004
9005
...

Figura 53- Excerto da base de dados criada para o cálculo da pegada ecológica.

Anexo IV – Metodologia de cálculo do fator de impacto associado às pás produzidas na Ria Blades.

No sentido de facilitar a compreensão do leitor acerca da obtenção dos resultados, apresenta-se, neste anexo, a metodologia de cálculo, tão detalhada quanto possível.

Em primeiro lugar, foi realizada uma pesquisa sobre a produção eólica total em Portugal [URL 8], no ano de 2017 e sobre a potência eólica nacional instalada [URL 9], também para o ano de 2017. O objetivo da recolha destes dados foi a obtenção do fator de capacidade da energia eólica em Portugal. Assim, dividindo o primeiro pelo segundo, obteve-se o fator desejado.

$$FC \left[\frac{kWh}{MW} \right] = \frac{\text{Produção total 2017}}{\text{Potência instalada 2017}} = \frac{11,97 * 10^9 kWh}{5236 MW} = 2286096,26$$

Posteriormente, para obter o fator de impacto relativo à produção de energia elétrica utilizando as pás produzidas na Ria Blades SA, aplicou-se a equação seguinte a cada um dos projetos. Na Tabela 13, estão presentes os resultados obtidos.

$$f(PE) = PEi \div f(pá) \times \left(\frac{1}{Pi \times FC \times \Delta t} \right)$$

Em que,

- PEi representa a pegada ecológica de um set de cada projeto;
- Pi representa a potência nominal do aerogerador a que se destina a pá;
- Δt representa o tempo de vida do aerogerador (aprox. 20 anos (Tremeac and Meunier, 2009)).

Tabela 13- Fatores de impacto relativos à produção das pás da Ria Blades SA.

	PE set [m ²]	Potência [MW]	Fator de impacto [m ² /kWh]
RE40.0	2,49*10 ⁵	2,000	0,2154
RE45.2	2,47*10 ⁵	2,045	0,2091
RE50.8	3,43*10 ⁵	3,600	0,1646
RE55.8	3,81*10 ⁵	3,600	0,1827
RE59.8	4,10*10 ⁵	3,600	0,1967
RE68.5	5,70*10 ⁵	6,200	0,1590